



**HAVA KİRLİLİĞİ VE KONUT
DOKUSU ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
ANALİZİ: ERZURUM ÖRNEĞİ**

Elif Nur SARI

**Yüksek Lisans Tezi
Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı
Prof. Dr. Sevgi YILMAZ
2019**

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVA KİRLİLİĞİ VE KONUT DOKUSU ARASINDAKİ
İLİŞKİNİN ANALİZİ: ERZURUM ÖRNEĞİ

Peyzaj Mimarı & Şehir Plancısı
Elif Nur SARI

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

ERZURUM
2019

Her Hakkı Saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ ONAY FORMU



HAVA KİRLİLİĞİ VE KONUT DOKUSU ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ANALİZİ:
ERZURUM ÖRNEĞİ

Prof. Dr. Sevgi Yılmaz danışmanlığında, Elif Nur Sarı tarafından hazırlanan bu çalışma, 09.01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Peşpay Mimarlığı Anabilim Dalı Peşpay Mimarlığı Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği / oy çokluğu (3./3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Sevgi Yılmaz

Üye : Doç. Dr. Murat Zengin

Üye : Doç. Dr. Isık Seren

İmza :

İmza :

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 17.01./2019 tarih ve ...03.../...39... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVA KİRLİLİĞİ ve KONUT DOKUSU ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ANALİZİ: ERZURUM ÖRNEĞİ

Elif Nur SARI

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sevgi YILMAZ

Hava kirliliği insan ve çevre sağlığına verdiği zararlardan dolayı birçok alanda çalışma konusu olmuş önemli bir çevre sorunudur. Kirliliğin temel nedeninin emisyon kaynaklı olduğu ileri sürülmekte ve bu çerçevede çözüm önerileri geliştirilmektedir. Son yıllarda emisyon kaynaklı tüketim dışında kent geometrisinin de hava kirliliğine önemli derecede etkisi olduğu ileri sürülmektedir.

Konut dokusu ile hava kirliliği arasındaki bağlantı analiz edilmiştir. Bu kapsamda farklı konut dokularında hava kirliliğinin dağılımı incelenerek kent geometrisinin kirliliğe olan etkisi incelenmiştir. Hava kirliliği tahmin haritası üretmek üzere coğrafi faktörler, fiziksel faktörler ve emisyon değerleri analiz edilmiştir. Konut dokusu analizi kapsamında saha ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 325 noktadan balık gözü kamera ile çekimler yapılmıştır. Çekilen fotoğraflar RayMan Pro 1.2 programında Gökyüzü Görünürlük Oranı (GGO) analiz edilmiştir. Kirlilik dağılımı ve konut dokusu haritalarından kirlilik dağılımı mekansal sentez haritası üretilmiştir. Hava kalitesi açısından yaşam konforunu destekleyen ve engelleyen bölgeler tanımlanmıştır. Bu bölgelerde rüzgar akışkanı kullanılarak ağaçlı ve ağaçsız sokak kanyonları için simülasyonlar yapılmıştır.

Araştırma sonuçları yakıt tüketiminin sokak geometrisinden daha baskın karakterde olduğunu göstermektedir. Konut dokusu ile hava kalitesi arasındaki ilişki incelendiğinde planlı yapılaşma gerektirmesi söz konusu olduğu için site ve müstakil tip konut dokusunun apartman tipi konut dokusundan daha verimli olduğu bulunmuştur. Sokak kanyonları için yapılan simülasyonlarda ise rüzgar akışı hızında çatı seviyesine göre yaya seviyesinde düşüş kaydedilmiştir. Yaşam konforunu desteleyen; ağaçsız bölgede %23, ağaçlı bölgede %25 düşüş olduğu incelenmiştir. Yaşam konforunu engelleyen; ağaçsız bölgede %29 ve ağaçlı bölgede %57 düşüş olduğu incelenmiştir. Rüzgar akışkanı kanyonun karakteristik özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Bu durum kirletici dağılımında önemli bir etkiye sahiptir. Rüzgarın geliş yönü, rüzgar hızı, bina yükseklikleri, binalar arası mesafe, sokak yönlmesi, sokak uzunlukları, bitki durumunun önemli parametreler olduğu bulunmuştur.

2019, 171 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hava Kirliliği, Konut Dokusu, Sokak Geometrisi, GGO

ABSTRACT

Master's Thesis

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN AIR POLLUTION AND HOUSING PATTERN: EXAMPLE OF ERZURUM

Elif Nur SARI

Atatürk University
Institute of Sciences
Department of Landscape Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Sevgi YILMAZ

Air pollution is an important environmental issue which has been the subject of studies in many areas due to the damage it causes to human and environmental health. It is suggested that the main cause of air pollution is emission-related, and solutions are being developed in this context. In recent years, it has been suggested that urban geometry also has a significant effect on air pollution, alongside emission-induced consumption.

The connection between the housing configuration and air pollution was analyzed. In this context, the effects of urban geometry on air pollution were investigated by examining the distribution of air pollution in different housing patterns. Geographic factors, physical factors and emission values were analyzed to produce air pollution estimation maps. Site measurements were carried out within the context of housing pattern analysis. From the 325 points, shots were taken with a fisheye camera. The captured photos were analyzed for the Sky View Factor (SVF) in the RayMan Pro 1.2 program. From the pollution distribution and housing pattern maps, pollution distribution spatial synthesis map was produced. In terms of air quality, the regions that support and prevent living comfort were defined. In these regions, simulations were made for wind and treeless canyons using wind fluid.

Research results show that fuel consumption is more dominant than street geometry. When the relationship between the housing pattern and the air quality was examined, it was found that the site and the detached type of housing pattern were more efficient than the type of apartment buildings because of planned construction. Simulations for street canyons showed a decrease in pedestrian level compared to roof level at wind flow rate. It was investigated that there was a decrease of 23% of the treeless area and 25% in the forested area, supporting the quality of life. It was observed that there was a 29% decrease in treeless area and a 57% decrease in forested area, preventing the living comfort. Wind fluid varies according to the canyon characteristics. This situation has a significant impact on the distribution of pollutants. Wind direction, wind speed, building heights, distance between buildings, street orientation, street lengths, plant status were found to be important parameters.

2019, 171 pages

Keywords: Air Pollution, Urban Texture, Street Geometry, SVF

TEŞEKKÜR

Çalıőmanın her aőamasında desteğini ve ilgisini esirgemeden bana ıőık tutan değerli hocam sayın Prof. Dr. Sevgi Yılmaz'a, hayatım boyunca bana her anımda destek olan aileme, gerek çalıőma sırasında gerekse hayatımın tüm zamanlarında yardımlarını esirgemeyen amcam Turgut Sarı, Peyzaj Mimarı Ayőe Nur Akyüz ve Peyzaj Mimarı & Őehir Plancısı Būőra Avcı'ya, sorularımı cevapsız bırakmayan hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Mutlu Yaęanoęlu, Arő. Gör. Emral Mutlu, Doktora Öğrencisi Mansour Nasiri Khalaji ve Mehmet Yıldızhan'a ve çalıőmaya katkı sunan tez savunma jüri üyeleri Sayın Doc. Dr. Murat Zengin ve Sayın Doc. Dr. Iőık Sezen hocalarıma sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Kurumlar arası őeffaflık ilkesine baęlı kalarak ihtiyacım olan verileri kolaylıkla temin edebildięim Erzurum Būyüőehir Belediyesi, Meteoroloji Genel Mūdürlüęü ve Palen Doęalgaz personeline teőekkürü borç bilirim.

Elif Nur SARI

Aralık, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Hava Kirliliği İle İlgili Yasal Düzenlemeler	3
1.2. Hava Kirliliği ve Neden Olan Faktörlerin Tanımlanması	4
1.2.1. Havada Bulunan Bazı Kirletici Maddeler	4
1.3. Hava Kalitesi ve Hava Akımı.....	7
1.4. Hava Kirliliği ve Yer Seçimi.....	8
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	12
2.1 . Hava Kirliliği İle İlgili Bilimsel Çalışmalar	12
2.2. Kent Formu ve Hava Kirliliği Arasındaki İlişki.....	13
2.3. Konut Dokusu ve Hava Kirliliği Arasındaki İlişki.....	14
2.4. Hava Kirliliği ve Yeşil Alanlar	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
3.1. Materyal.....	37
3.1.1. Çalışma Alanı	37
3.1.2. Çalışma Alanında Kullanılan Ölçüm Aletleri	43
3.1.3. Çalışmada Kullanılan Yazılım Programları	43
3.1.4. Çalışmada Kullanılan Altlık Haritalar	45
3.2. Yöntem	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	54
4.1. Hava Kirliliği Mekansal Tahmini.....	54
4.1.1. Emisyon Değerleri Mekansal Kirlilik Tahmini	54
4.1.2. Fiziksel Değişkenlerin Mekansal Kirlilik Tahmini	56
4.1.3. Coğrafi Değişkenlerin Mekansal Kirlilik Tahmini	59

4.1.4. Hava Kirliliği Mekansal Sentezi	60
4.2. Konut Dokusu Analizleri.....	63
4.2.1. Apartman Tipi Yapılaşma	65
4.2.2. Gecekondu Tipi Yapılaşma	68
4.2.3 Müstakil Tip Yapılaşma	69
4.2.4. Site Tipi Yapılaşma	73
4.2.5. GGO Mekansal Tahmini Haritası.....	78
4.3. GGO ve Kirlilik Değerlerinin Mekansal Sentezi	79
4.3.1. GGO Fiziksel Faktörlerin Mekansal Sentezi.....	79
4.3.2. GGO ve Coğrafi Faktörlerin Mekansal Sentezi	82
4.3.3. GGO ve Emisyon Değerleri Mekansal Sentezi.....	86
4.3.4. GGO ve Kirlilik Dağılımı Mekansal Sentezi	88
4.4. Kirlilik Dağılımı ve Kanyon Karakteristik Değerleri Arasındaki İlişki	92
4.4.1. Yaşam Konforunu Destekleyen ve Engelleyen Bölgelerin Seçilmesi	92
4.4.2. Yaşam Konforunu Destekleyen Bölgede Bitki Örtüsü Değişkeninin Kirlilik Dağılımına Etkisi	93
4.4.3. Yaşam Konforunu Engelleyen Bölgede Bitki Örtüsü Değişkeninin Kirlilik Dağılımına Etkisi.....	96
4.4.4. Yaşam Konforunu Destekleyen ve Engelleyen Bölgede Bitki Örtüsü Değişkeninin Kirlilik Dağılımına Etkisinin Değerlendirilmesi.....	103
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	105
5.1. Öneriler.....	110
KAYNAKÇA	116
EKLER.....	126
EK 1.....	126
ÖZGEÇMİŞ	172

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°	Derece
°C	Santigratderece
μ	Mikron

Kısaltmalar

CO	Karbonmonoksit
CFD	Computational Fluid Dynamic (Sayısal Akışkanlar Dinamiği)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
EBB	Erzurum Büyükşehir Belediyesi
GGO	Gökyüzü görünürlük oranı
ha	Hektar
H	Height (Yükseklik)
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
m	Metre
m ³	Metreküp
NO ₂	Azotdioksit
O ₃	Ozon
PM ₁₀	Partikül madde
SO ₂	Kükürtdioksit
W	Weight (Genişlik)
N	Kuzey
S	Güney
E	Doğu
W	Batı
SW	Güneybatı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Havadaki kirleticilerin kimyasal davranışı	7
Şekil 1.2. Vadi hava akımını akış şeması	11
Şekil 2.1. Kanyon geometrisi hesaplanması	15
Şekil 2.2. Kanyon geometrisi ve rüzgar ilişkisi	20
Şekil 2.3. (a) eşit bina yüksekliği ile, (b) farklı yükseklikteki binalar ile, (c) kanyon, kanal ve yüzey birimlerinde yaya seviyesi ve çatı kanopisi modellemesi .	23
Şekil 2.4. Bitişik sokak kanyonu şematik gösterimi	25
Şekil 2.5. Az katlı (3-9 m) bina çevresinde atmosferik sınır katmanında rüzgar dolaşımı	26
Şekil 3.1. Erzurum kenti coğrafi konumu	37
Şekil 3.2. Erzurum kenti tarihi gelişimi	38
Şekil 3.3. Erzurum rüzgar gülü	39
Şekil 3.4. Erzurum ovası ve dağların yükselti değerleri	40
Şekil 3.5. Erzurum kenti sıcaklık değerleri	41
Şekil 3.6. Temiz hava izleme istasyonları	43
Şekil 3.7. Trotec ba16 rüzgar hızı ve sıcaklık ölçer	43
Şekil 3.8. Balık gözü lens	43
Şekil 3.9. ArcGIS 10.3 programı arayüz	44
Şekil 3.10. RayMan programı arayüz	44
Şekil 3.11. ANSYS 16.0 Programı Arayüzü	45
Şekil 3.12. Dem verisi	45
Şekil 3.13. 1/25000 ölçekli halihazır harita	46
Şekil 3.14. 1/50000 ölçekli uydu görüntüsü	46
Şekil 3.15. Yöntem akış şeması	47
Şekil 3.16. Konut tipolojieri ve ölçüm alınan noktalar	51
Şekil 3.17. Gökyüzü görünürlük oranı hesaplanması	51
Şekil 3.18. Konut tipolojieri ve ölçüm alınan noktalar	51
Şekil 3.19. Yöntem grafiksel akış şeması	53
Şekil 4.1. NO _x analizi	55

Şekil 4.2. NO ₂ analizi	55
Şekil 4.3. NO analizi.....	55
Şekil 4.4. PM ₁₀ analizi	55
Şekil 4.5. CO analizi.....	55
Şekil 4.6. O ₃ analizi	55
Şekil 4.7. Emisyon değerlerinin mekansal kirlilik tahmini	56
Şekil 4.8. Kömür tüketim analizi	58
Şekil 4.9. Yoğunluk analizi.....	58
Şekil 4.10. Doğalgaz tüketim analizi	58
Şekil 4.11. Fiziksel faktörlerin dağılımı	58
Şekil 4.12. Yükselti analizi	
Şekil 4.13. Basınç analizi.....	59
Şekil 4.14. Rüzgar analizi	
Şekil 4.15. Sıcaklık analizi.....	59
Şekil 4.16. Coğrafi faktörlerin mekansal dağılımı.....	60
Şekil 4.17. Hava kirliliği mekansal dağılımı	61
Şekil 4.18. Hava kirliliği mekansal sentezi yoğunluk dağılımı	62
Şekil 4.19. Hava kirliliği mekansal sentez varyasyonları	63
Şekil 4.20. Tahmini hata	63
Şekil 4.21. Apartman tipi yapılaşma (Lalapaşa Mah., Muratpaşa Mah., Ömer Nasuhi Bilmen Mah., Rabiaana Mah., Kazım Karabekir Mah.)	65
Şekil 4.22. Apartman tipi yapılaşma (Şükrüpaşa Mah.)	66
Şekil 4.23. Apartman tipi yapılaşma (Abdurrahmangazi Mah., Ertuğrul Gazi Mah., Kazım Yurdalan Mah., Yunusemre Mah.)	67
Şekil 4.24. Gecekondu tipi yapılaşma (Kurtuluş Mahallesi)	68
Şekil 4.25. Müstakil tipi yapılaşma (Ahmet Yesevi Mah. Bilal Habeşi Mah.)	69
Şekil 4.26. Müstakil tip yapılaşma (Osmanbektaş Mah.)	70
Şekil 4.27. Müstakil tipi konut kümesi (Adnan Menderes Mah.).....	71
Şekil 4.28. Müstakil tipi yapılaşma (Şükrüpaşa Mah.).....	72
Şekil 4.29. Site tipi konut kümesi (Adnan Menderes Mah., Hacı Salih Efendi Mah., Hacı Ahmet Baba Mah., Mehmet Akif Ersoy Mah., Solakzade Mah., Ş.İsmail Aksu Mah.).....	73

Şekil 4.30. Site tipi konut kümesi (Osmangazi Mah.)	74
Şekil 4.31. Site tipi konut kümesi (Osmanbektaş Mah.)	75
Şekil 4.32. Site tipi yapılaşma (Şükrüpaşa Mah.)	76
Şekil 4.33. Site tipi konut kümesi (Kurtuluş Mah.)	77
Şekil 4.34. Site tipi yapılaşma (Alparslan Mah., Abdülhamit Mah.)	78
Şekil 4.35. GGO mekansal analizi	79
Şekil 4.36. GGO ve fiziksel faktörlerin mekansal sentez haritası	80
Şekil 4.37. GGO ve fiziksel faktörler mekansal sentez yoğunluk dağılımı	81
Şekil 4.38. GGO ve fiziksel faktörler mekansal sentezi varyasyonları	82
Şekil 4.39. Tahmini hata	82
Şekil 4.40. GGO ve Coğrafi faktörler mekansal sentez haritası	83
Şekil 4.41. (a) Sıcaklık yoğunluk dağılımı (b)GGO dağılımı (c) Rüzgar yoğunluk dağılımı	84
Şekil 4.42. GGO -Coğrafi faktörler mekansal sentezi varyasyonları	85
Şekil 4.43. Tahmini hata	85
Şekil 4.44. Kirletici madde ve GGO mekansal analiz haritası	86
Şekil 4.45. Yoğunluk değerleri	87
Şekil 4.46. Varyasyon	88
Şekil 4.47. Tahmini Hata	88
Şekil 4.48. Kirlilik dağılımı ve mekansal sentez haritası	89
Şekil 4.49. Kirlilik Dağılımı ve GGO Sentezi Yoğunluk dağılımı	90
Şekil 4.50. Kirlilik dağılımı ve GGO Sentezi Varyasyon grafikleri	91
Şekil 4.51. Tahmini Hata	92
Şekil 4.52. Yaşam konforunu destekleyen ve engelleyen bölgelerden örnek seçilmesi	93
Şekil 4.53. Yaşam konforunu destekleyen bölge ağaçsız sokak alan tanıtımı	94
Şekil 4.54. (a) sokak kanyonunda rüzgarın dağılımı plan ölçeğinde, (b) sokak kesitinde rüzgarın yayılışı (c) ve (d) rüzgarın planda vektörel dağılımı (e) sokak kesitinde rüzgarın vektörel dağılımı	95
Şekil 4.55. Yaşam konforunu destekleyen bölge ağaçlı sokak alan tanıtımı	96

Şekil 4.56. (a) sokak kanyonunda rüzgarın dağılımı plan ölçeğinde, (b) sokak kesitinde rüzgarın yayılışı (c) ve (d) rüzgarın planda vektörel dağılımı (e) sokak kesitinde rüzgarın vektörel dağılımı.	97
Şekil 4.57. A bölge ağaçsız sokak alan tanımı	98
Şekil 4.58. (a) sokak kanyonunda rüzgarın dağılımı plan ölçeğinde, (b) sokak kesitinde rüzgarın yayılışı (c), (d) ve (e) rüzgarın planda vektörel dağılımı (f) sokak kesitinde rüzgarın vektörel dağılımı.	99
Şekil 4.59. Yaşam konforunu engelleyen bölge ağaçlı sokak alan tanımı.....	100
Şekil 4.60. (a) sokak kanyonunda rüzgarın dağılımı plan ölçeğinde, (b) sokak kesitinde rüzgarın yayılışı (c) ve (d) rüzgarın planda vektörel dağılımı (e) sokak kesitinde rüzgarın vektörel dağılımı.....	101
Şekil 4.61. (a) sokak kanyonunda rüzgarın dağılımı plan ölçeğinde, (b) sokak kesitinde rüzgarın yayılışı (c) ve (d) rüzgarın planda vektörel dağılımı (e) sokak kesitinde rüzgarın vektörel dağılımı.....	102

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. WHO AB standartları	6
Çizelge 2.1. Açık sokak koşullarında vejetasyon bariyeri araştırılan çalışmaların sınıflandırılması.	32
Çizelge 2.2. Sokak Kanyonundaki Çitlerin Hava Kirletici Etkisi Üzerine Yapılan Çalışmaların Özeti.	34
Çizelge 3.1. Ortalama rüzgar hızı ve yönler	39
Çizelge 3.2. Ortalama basınç değerleri	40
Çizelge 3.3. Yer seçimi hakkında bilgilendirme tablosu	42
Çizelge 3.4. Kirletici güncel veriler 20.10.2018 tarihinde alınmıştır	43
Çizelge 4.1. Kirletici emisyon miktarları.....	54
Çizelge 4.2. Tüketim ve yoğunluk verileri	57
Çizelge 4.3. Mahallere ait GGO, rüzgar hızı ve sıcaklık verileri	64
Çizelge 4.4. Birim uzunluğunda hız değeri	103
Çizelge 4.5. Çatı seviyesinde rüzgar hız ölçümü	104
Çizelge 4.6. Yaya seviyesinde rüzgar hız ölçümü	104

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar iklimin elverişli olduğu, su ve verimli arazilere erişimin kolay olduğu bölgeleri yerleşim mekanı olarak seçmiştir. Özellikle sanayi devriminden sonra hızlı nüfus artışı mevcut yerleşik alan üzerinde baskı oluşturmuştur. Dolayısıyla kentlerde yeni yer seçimi politikaları geliştirilerek ekonomik ve estetik ilkeler göz önünde bulundurularak kentin gelişim yönü belirlenmiştir. Kentsel dokunun farklılaşması, ulaşım ağlarının gelişmesi, farklı sanayi ve ticaret kollarının gelişmesiyle kent çok aktörlü bir merkez haline gelmiştir. Doğal coğrafyanın maruz kaldığı kentleşme baskısı içsel ve dışsal anlamda ekolojinin dengesini bozmaktadır. Küresel iklim değişikliği, sel taşkınları, hava kirliliği benzeri afetler bu etkinin yaygın sonucu olarak gösterilmektedir.

Çalışma kapsamında da hava kirliliği konusuna odaklanılmıştır. Meteorolojik, topoğrafik, yapısal koşullar kentte alt ve üst ölçekte çeşitli gazların kimyasal reaksiyonları sonucu ortaya çıkan doğal ve yapay kirletici faktörlerin, mekansal dağılımına göre afet oluşturmaktadır. Hava kirletici gazların etkisi küresel boyutta yeryüzünün tamamını etkileyen sera etkisi ve ozon tabakasının incilmesi gibi etkilere sahipken bölgesel ölçekte; ilk olarak 1852 yılında Robert Angus Smith tarafından İngiltere'ye düşen yağışlarda fark edilen asit yağmurları ve lokal ölçekte yerleşim ve sanayi bölgelerinde görülen hava kirliliği olarak karşılaşılmaktadır. İnsan sağlığına potansiyel zarar veren kirletici gazlar, solunum sisteminin hassas bölgelerine girdiği için ciddi sağlık etkilerine neden olmaktadır (EEA 2013). Kirletici maddenin solunum ve akciğer hastalıklarını tetiklediği, bağışıklık sistemi problemlerine neden olduğu, ve erken ölümü tetiklediği tespit edilmiştir (Heal *et al.* 2012; Zhang *et al.* 2012). Kirletici emisyonlar kalp hastalığının da önemli bir belirteci olarak bulunmuştur (Cox, 2018). Ayrıca Amerika, Brezilya, Avrupa ve Asya'da yapılan çalışmalarda CO, ozon (O₃), SO₂, PM₁₀, NO₂ gibi hava kirletici emisyonların düşük doğum, erken doğum ve ölü doğumla arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur (Ritz and Yu 2000; Ritz *et al.* 2002).

Uzun yıllardır doğal ve yapay faktörler nedeniyle hava kirliliğine maruz kalan Erzurum kenti henüz sağlıklı bir yaşam konforuna ulaşamamıştır. Soğuk iklim şartlarına sahip Erzurum kentinde evsel yakıt tüketimi kaynaklı kirletici gazların atmosfere yayılması kirliliğin birincil kaynağı olarak görülmektedir. Ayrıca kentin morfolojik ve meteorolojik koşulları da bu etkiye artırmaktadır. Ancak atmosfere yayılan kirletici gazlar dağılım sürecinde sokak ölçeğinden kent ölçeğine doğru bir yaklaşım sergilemektedir. Çalışmada morfolojik ve meteorolojik faktörler dışında fiziksel faktörlerin hava kirliliği dağılımı üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu sorusuna cevap aranmaktadır. Bu bağlamda kirletici dağılımına etki eden faktörlerin üst ölçekte ve alt ölçekte yapılan analizler doğrultusunda tespit edilerek iyileştirici çözüm önerileri geliştirmek amaçlanmaktadır.

Hava kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalar emisyon kaynaklarına, meteorolojik ve morfolojik faktörlere odaklanmakta kent dokusu (GGO) ve fiziki faktörler (nüfus yoğunluğu, doğalgaz tüketimi ve kömür tüketimi) göz ardı edilmektedir. Fiziki faktörlerin kirliliğin temel nedeni olmamakla birlikte kirletici seyreltilmesine önemli bir katkı sunacağı düşünülmektedir. Hava kirliliği ve kentin fiziki yapısını oluşturan farklı konut kümeleri arasındaki ilişkinin incelenmesi literatürdeki boşluğu doldurmak adına önemli bir adım olacaktır. Kent geometrisini temel alan çalışma hava kirliliği eylem planları için altlık oluşturma niteliği taşıyıp, mevcut kent dokusunda ağaçlandırma tasarımlarının ve kentsel dönüşüm alanlarında da konut tipolojilerinin seçilmesinde önemli bir adım olacaktır. Çalışma bu noktada hava kalitesinin önceden tahmin edilmesi ve hem insan ve çevre sağlığı hem de maliyet açısından önem arz etmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde hava kirliliğine dair tanımlamalar yapılarak morfolojik ve meteorolojik parametrelerin hava kirliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. İkinci bölümde; hava kirliliği ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar, kent formu ve hava kirliliği arasındaki ilişki, konut kümesi ve hava kirliliği arasındaki ilişki ve yeşil doku ve hava kirliliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Üçüncü bölümde Erzurum kentine dair ham bilgilere ve çalışmada kullanılan yöntem akışına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde çalışma kapsamında yapılan analizlere yer verilerek hava kirliliği ve kent geometrisi

arasında ilişkisi incelenmiştir. Beşinci bölümde elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve altıncı bölümde önerilere yer verilmiştir.

1.1. Hava Kirliliği İle İlgili Yasal Düzenlemeler

Uluslararası bağlamda bakıldığında; Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından 1987 yılında yayımlanan "Brundtland Raporu" çevre konusunda yankı uyandırmıştır (United Nations Report 1987). Haziran 1992'de Rio "Çevre ve Kalkınma Konferansı'nın önemli çıktıları olan "Rio Deklarasyonu" yayınlanmıştır (United Nations Agenda-21,1992). Rio Zirvesi'nin sonuç belgeleri daha sonra Birleşmiş Milletler (BM) toplantılarının gündemini yönlendirmiştir. Dünya Nüfus ve Kalkınma Konferansı (Kahire 1994), Dünya Sosyal Kalkınma Zirvesi (Kopenhag 1995), İkinci İnsan Yerleşimleri Konferansı-Habitat II (İstanbul 1996), Binyıl Zirvesi (New York 2000), Birleşmiş Milletler Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi (Johannesburg 2002), Birleşmiş Milletler Global İnsan Kalkınma Programı (Cape Town 2006) bu konferansların başlıcalarıdır. Son yıllarda hava kirletici emisyon azaltımına rağmen hava kirliliği hala halk sağlığı, ekonomi ve ekosistemler için tehdit oluşturmaktadır (EEA 2013). Kirletici maddenin verdiği zararları önlemek adına temiz hava eylem planları geliştirilmiş, kirletici yayılım standartları belirlenmiş Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından ülkeler arası anlaşmalar yapılmıştır (175 ülke tarafından imzalanan Paris İklim Anlaşması). Hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik hava kalitesi standartları geliştirilmiştir. WHO tarafından hava kalitesi standartları yönetmeliklerle hazırlanmıştır. Bu amaçla kabul edilebilir maksimum standart ve sınır değerler oluşturulmuştur.

Türkiye'de hava kirliliği ile ilgili yönetsel düzenlemelerin başında 1982 Anayasası 56. Maddesinde yer alan herkesin sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahip olması hakkında ifade gelmektedir. 1983'te Çevre Yasası yürürlüğe girmiştir. 2872 sayılı Çevre Kanununun Ek 6. maddesinde " Hava kirliliğinin belirlenmesi, izlenmesi ve ölçülmesine yönelik yöntemler hava kalitesinin sınır değerleri ve bu sınır değerlerin aşılması için alınması gerekli önlemler kamuoyunun bilgilendirilmesi ve

bilinçlendirilmesine yönelik çalışmalar Bakanlık tarafından yürütülür.” hükmü yer almaktadır. Bu kapsamda 1986’da Türkiye Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği hazırlanmıştır. Yönetmelik çerçevesinde, WHO ve Avrupa Birliği standartları da dikkate alınarak, kısa dönem, uzun dönem ve hedef sınır değerlerinden oluşan SO₂ ve PM sınır değerleri konmuştur. Ayrıca 05/05/2009 tarihli 27219 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ile yönetmelikte değişikliğe gidilmiş 01/01/2014 tarihine kadar mevcut hava kalitesi sınır değerlerinin kademeli olarak azaltılması kararı alınmıştır. Sonrasında AB limit değerlerini sağlamaya yönelik Temiz Hava Eylem Planları hazırlama çalışmaları başlamıştır. Ayrıca bu çalışmalar kapsamında her ilde hava kirliliği gözlem istasyonları kurulmuştur. 2014-2018 yılları için yapılan Onuncu Kalkınma Planı hedef ve politikaları arasında 2.3. Yaşanabilir Mekanlar, Sürdürülebilir Çevre isimli bölümünde 2.3.7 Çevrenin Koruması başlığı altında atık ve emisyon azaltma, çevre dostu malzeme kullanımı gibi uygulamalara vurgu yapılmıştır.

1.2. Hava Kirliliği ve Neden Olan Faktörlerin Tanımlanması

Havada bulunan gazların %78’i Azot, %21’i Oksijen, %1 Karbondioksit ve diğer gazlardır. Ancak normal şartlar altında bulunan havaya farklı gaz partiküllerinin karışması hava koşullarını olumsuz etkileyebilmektedir. Hava kirliliği, bir veya daha fazla kirlenici maddenin sınır değerlerini aşarak iç veya dış ortamda canlı yaşamına ve çevre kalitesine zarar verecek oranda bulunması olarak tanımlanmaktadır (Cavkaytar 2013). Hava kirliliğine neden olan kaynaklar doğal ve yapay olmak üzere iki grupta incelendiği gibi, atmosferde bulunma durumuna göre birincil ve ikincil kirleniciler olarak sınıflandırılabilir (Partigöç ve Çubukçu 2017).

1.2.1. Havada Bulunan Bazı Kirlenici Maddeler

Kimyasal reaksiyonlar ve yakma işlemleri esnasında ortam havasına karışan tüm gaz ve partiküllerine emisyon denir (MGM 2017). Hava kirliliğine neden olan bazı emisyonların tanımlarına aşağıda yer verilmiştir.

Ozon (O₃): Atmosferdeki ozonun yaklaşık %10'u atmosferin alt katlarında troposferde bulunur. Azotoksitlerin ultraviyole ışınları ile reaksiyona girerek ozonun artışı meydana getirir. Uzun dalga boylu radyasyonun atmosferde kalmasına ve sera etkisinin artmasına neden olur. Pusun en önemli bileşeni olduğu için, kritik hava kirleticilerinden biri olarak sayılabilir (Masters 1991).

Karbon monoksit (CO): Renksiz, kokusuz ve havanın ortalama mol ağırlığına eşit olan varlığı fark edilmeyen zehirli bir gazdır. Birincil bir hava kirletici olan karbonmonoksit, oksijen eksikliği, yüksek sıcaklıkta gazın kalıcılık zamanı ve yanma odası türbülansı gibi etkenlerden birinin eksikliğinde tam olmayan yanma sonucunda ortaya çıkmaktadır (Masters 1991). Atmosferde kolay kolay yok olmayan gazın ortalama kalıcılık süresi 2-4 aydır. Yılda 232 milyon ton karbonmonoksit üretildiği ve %70'inden fazlasının ulaşım sektöründen kaynaklandığı bilinmektedir. Atmosferde 0,03 ppm artışa neden olması yanında insan sağlığı üzerinde de vücuttaki oksijen miktarını azaltarak ölümlere yol açtığı bilinmektedir (İncecik 1994).

Kükürtdioksit (SO₂): Havadaki kükürtoksitler (SO_x) içerisinde en önemli pay kükürtdioksit (SO₂) gazına aittir. Gaz renksiz bir madde olup 0,3-1 ppm değişimlerde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm'in üstünde ise boğucu bir hisse yol açmaktadır. Atmosferde kalıcılık süresi 40 günü bulmaktadır ve antropojenik etkilerden kaynaklı olarak fosil yakıtların yanması sonucunda meydana gelmektedir (Agren 1991).

Partikül Madde (PM₁₀): Hava kirleticiler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Atmosferde standart şartlarda katı ya da sıvı olarak bulunan birleşmemiş su dışındaki madde olarak tanımlanmaktadır. 0.1 µ ile 100 µ arasında değişen boyutlardadır. Partiküllerin başlıca kaynaklarını çimento fabrikaları, metal endüstrisi ile araçlar oluşturur. Volkanlar ise partikül emisyonları bakımından en önemli doğal kaynaklardır. Endüstriyel proseslerden meydana gelen partikül emisyonlarının yılda 7,5 milyon ton olduğu saptanmış, orman yangınları sonucu meydana gelen partikül emisyonlarının tüm emisyonlar içerisinde %25 olduğu incelenmiştir. PM₁₀'un insan sağlığına etkileri kısa

ve uzun dönemli sağlık ile ilgili partikül standardında U.S. EPA tarafından kullanılan indikatör 10 μ veya daha küçük çaplı partikül maddedir (MGM 2017).

Azot Oksitler (NO_x): Yüksek sıcaklık altında yanma işlemi sonucunda ortaya çıkan, renksiz kokusuz gazdır. Gübreleme ve araçlar gibi çeşitli faaliyetler sonucu oluşmaktadır. Genel olarak kaynakları egzoz gazları, fosil yakıtlar ve organik maddelerdir, orman yangınları, yıldırım, topraktaki mikrobiyolojik süreçler halinde sıralanmaktadır. Atmosferde kalıcılık süresi yaklaşık 1 gündür. Ancak NO + NO₂'nin NO_x bileşenlerinden NO₂'nin atmosferik ömrü yüzyıldan fazladır ve küresel iklim değişimindeki payı %5 olarak tahmin edilmektedir (Öztürk 2009).

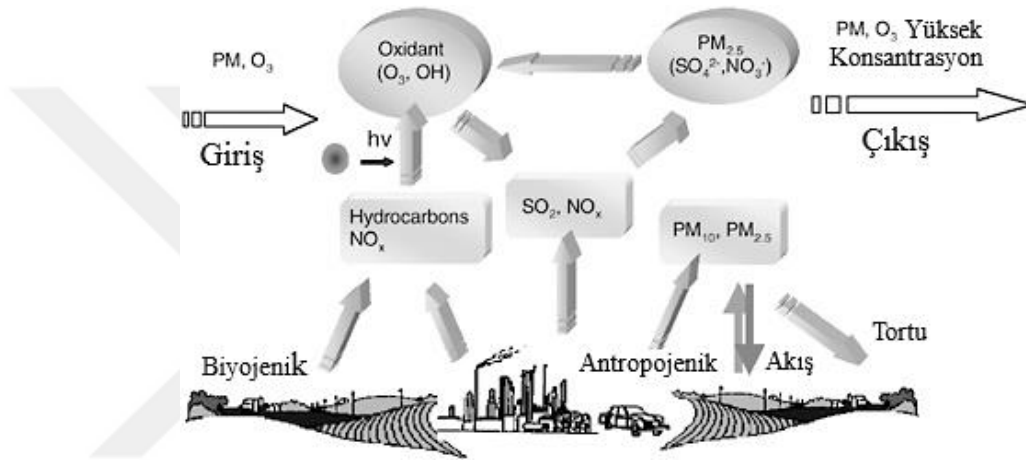
Avrupa Birliği, havada bulunan bir dizi kirleticiler için sağlık temelli standartları ve hedefleri belirleyen kapsamlı bir mevzuat oluşturmuştur. Bu standartlar ve hedefler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 1.1. WHO AB standartları

<i>Kirletici</i>	<i>Yoğunluk</i>	<i>Ortalama zaman</i>	<i>Yasallaştığı tarih</i>	<i>Her yıl izin verilen aşılabilir d.</i>
Fine particles (PM _{2.5})	25 μ g/m ³	1 yıl	1.1.2010	n/a
			1.01.2015	
Sulphur dioxide (SO ₂)	350 μ g/m ³	1 saat	1.01.2005	24
	125 μ g/m ³	24 saat	1.01.2005	3
Nitrogen dioxide (NO ₂)	200 μ g/m ³	1 saat	1.01.2010	18
	40 μ g/m ³	1 yıl	1.01.2010	n/a
PM ₁₀	50 μ g/m ³	24 saat	1.01.2005	35
	40 μ g/m ³	1 yıl	1.01.2005	n/a
Lead (Pb)	0.5 μ g/m ³	1 yıl	31.12.2009	n/a
Carbon monoxide (CO)	10 mg/m ³	8 saat	1.01.2005	n/a
Benzene	5 μ g/m ³	1 yıl	1.01.2010	n/a
Ozone	120 μ g/m ³	8 saat	1.01.2010	25 gün
Arsenic (As)	6 ng/m ³	1 yıl	31.12.2012	n/a
Cadmium (Cd)	5 ng/m ³	1 yıl	31.12.2012	n/a
Nickel (Ni)	20 ng/m ³	1 yıl	31.12.2012	n/a
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	1 ng/m ³	1 yıl	T31.12.2012	n/a

1.3. Hava Kalitesi ve Hava Akımı

Kentlerdeki hava kalitesi çeşitli meteorolojik faktörlerin kombinasyonu ile ilişkilidir. Hava kalitesi kirletici emisyonların yanı sıra meteorolojik faktörlerden de etkilenmektedir (Gupta *et al.* 2007). Atmosfere göre daha hızlı ısınıp soğuyan yer örtüsü ile yere yakın sınır atmosfer tabakası arasında meydana gelen ısı transferi hava akımını meydana getirir (Şekil 1.2).



Şekil 1.1. Havadaki kirleticilerin kimyasal davranışı (Tang 2004)

Yatay hava hareketi olan rüzgar, yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan hava akımıdır. Akımı meydana getiren bu transferde ısınan havanın yoğunluğu düşer ve yoğunluğu düşen hava yükselmeye başlayarak alçak basınç oluşturur. Atmosferin üst tabakasında olan soğuk hava ise yüksek basıncı oluşturur ve yüksek basınçtan alçak basınca doğru bir hava akışı meydana gelir. Soğuk havanın hafif olup yükselme, sıcak havanın ağır olup çökme özelliklerine göre dağ, yamaç ve vadilerde de gece gündüz sıcaklık farkından dolayı rüzgar akışları vardır. Hava yerden yukarı doğru yükselirken genişler, soğur ve içindeki nem, bulut oluşturmak üzere yoğunlaşır. Böylece troposferde hava kirliliği ile ilgili sorun oluşmaz ve kirletici parametrelerde çökme meydana gelmez(Kırşehir İli Hava Kalitesi, 2016). Nispeten güçlü hava kirliliği atakları, çoğunlukla 3 m/s'den daha az olan düşük rüzgar hızıyla ilişkili hava koşullarına karşı şiddetlenir. Şehir merkezindeki rüzgar hızı ve Neckar vadisi özellikle çok düşüktür (Ketterer and Matzarakis 2014a).

Dikey ve yatay hava hareketleri, bir bölgedeki havanın değişiminde çok önemlidir. Atmosferdeki ısı farkından dolayı dikey hava hareketleri ortaya çıkmaktadır. Yeryüzüne yakın sıcak hava içindeki kirleticilerle birlikte yukarı doğru hareket ettikçe soğumaktadır. Üstteki hava karşıladığı havadan daha sıcak olduğu için hareket eden soğuk hava tabakasının yükselmesi engellemektedir. Yerküre gittikçe soğur ve kirleticilerin uzaklaştırılması gerçekleştirilemez. Sis eklenmesi halinde ise smog tabakası oluşmaktadır (Kirli hava+sis= smog). Bu olay, güneş ışınları etkili olup bu durum yerküreyi ısıtana kadar veya kuvvetli bir yatay hava hareketi (rüzgar) ile durgun hava gidene kadar devam etmektedir. Bu duruma sıcaklık inversiyonu olarak adlandırılmaktadır. Böyle zamanlarda hava kütlesi yukarı doğru değil daha soğuk ortam olan aşağı doğru hareket etme meylinindedir. Soğuk hava, sıcak havadan daha yoğun olduğu için yer seviyesindeki havanın ve kirleticilerin yükselmesini ve dağılmasını engellemektedir. İnversiyon tabakasının üzerinde ise sıcaklık yükseklikle azalmaya devam etmektedir. Bulutlarla örtülü havalar termal radyasyonu absorbe eder ve radyasyonun yeryüzüne dönmesine neden olmaktadır (Öztürk 2017).

1.4. Hava Kirliliği ve Yer Seçimi

Dünyada ve ülkemizdeki birçok kentte sahip olduğu hava kirliliği sorunu araştırma konusu olmuştur. Hava kirliliği probleminin yaşandığı kentler incelendiğinde göze çarpan ortak belirgin özellikleri çanak veya vadi biçiminde coğrafyaya sahip oluşlarıdır. Ülkemizde benzer topoğrafik özelliklere sahip Erzurum, İzmir, Tekirdağ, Kütahya Malatya kentlerinde hava kirliliği konusunda çeşitli araştırmalar ve analizler yapılmıştır. Artan şehircilik faaliyetleri sırasında ekolojik yaklaşımın ihmal edilmesi, plansız yapılaşma nedeniyle çevre sorunlarının önünü açmıştır (Hacısalıhoğlu 1994; Keser 2002; Başar vd 2005; Doğan 2007; Palancıoğlu 2012; Karbuz 2016).

Kentleşmeye neden olan faktörler temel olarak tarım toplumuna geçişle suya yakın bölgelere yerleşme, nüfus artışı ve savaş, ticaret ve din ana başlıkları altında toplanabilir. Kent formlarının oluşumunda; coğrafya su kıyısı, ova, engebeli arazi gibi farklı oluşumlarıyla önemli bir etkidir. Ülkemizde yerleşim birimlerinin farklı formları

birbirinden farklı tipte meydana gelmiş ve delta, kıyı, vadi boyu, tektonik çöküntü, etek, karstik ve dağ içi ovaları şeklinde ayırt edilen ovalardan oluşan jeomorfolojik oluşumlarda yoğun olarak görülmüştür (Sütgibi 2008). Doğrusal, ışınsal, grid formlu yapılaşmalar coğrafyanın elverişli olduğu bölgelerde farklı politikalar çerçevesinde ortaya çıkmıştır. Sosyolojik ve toplumsal anlamda devingenliği içerisinde barındıran kent dinamizmini tarihsel süreç boyunca korumuştur. Sanayi Devriminden sonra kırdan kente göç başlamış ve kentsel yerleşik alanlarda nüfusta hızlı bir artış gözlenmiştir. Artan nüfusun barınma ihtiyacını karşılamak üzere yeni yapılaşmalar çoğunlukla konsantrik kent formlarını ortaya çıkarmıştır. Erişilebilirlik açısından en uygun ortamı sağlayan etrafı yüksek dağlarla çanak formlu alanlar hava, rüzgar, sıcaklık gibi iklimsel değişkenleri de etkileyerek hava kirliliğine neden olmaktadır (Hindman *et al.* 1996). Özellikle Sanayi Devriminden sonra kentlerde yer seçimi eğilimleri incelendiğinde mevcut yerleşik alan etrafında artan nüfusun konut talebi ihtiyaçları doğrultusunda şekillenmiştir. Çoğunlukla plansız, politik kaygılarla gerçekleşen bu süreçte mekan organizasyonunu yöneten doğal çevre bileşenleri ihmal edilmiştir (Karadağ ve Koçman 2007).

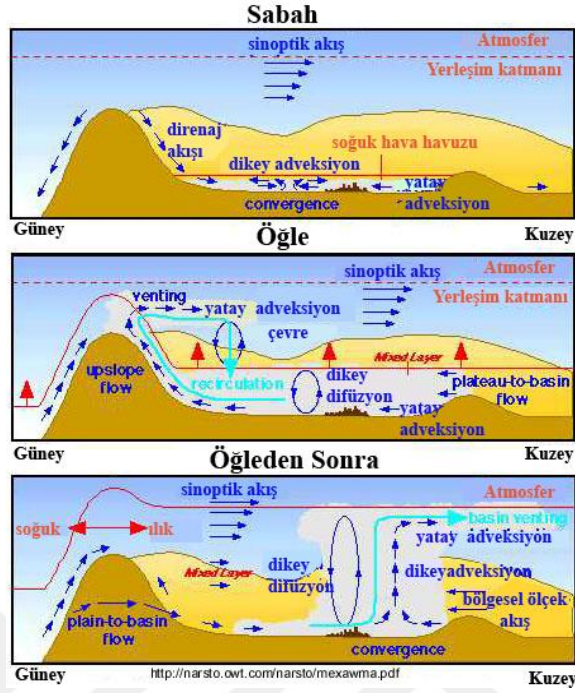
Hava akımı bölümünde anlatıldığı üzere sıcaklık inversiyonu meteorolojik olarak normal bir olay olsa da kentteki kirleticiler nedeniyle hava kirliliğine neden olmaktadır. Sıcaklık inversiyonu üç temelde incelenir; Radyasyon inersiyonu, çökme inversiyonu ve adveksiyon inversiyonudur.

Radyasyon inversiyonu; Yüksek basınç şartları altında bulutsuz, soğuk ve sakin rüzgârlı günlerde yere yakın yerlerde geceleri başlar. Bulutsuz gecelerde yer ısınımlı hızlı bir şekilde yayılır. Sonuç olarak hem yer ve hem de yere yakın hava tabakası hızlı şekilde soğur. Üst tabakadaki hava tabakası ise daha sıcak hale geçer. Böylece gece radyasyon inversiyonu oluşur. Bu durumda yer daha soğuktur. Radyasyon inversiyonunun vadide veya havzada meydana gelmesi durumunda vadinin kenarlarındaki soğuk hava yamacın aşağısına akar ve sıcak havanın altına yerleşerek inversiyonu güçlendirir. Radyasyon inversiyonu sis oluşumunu başlatır ve bu durum ancak güneş ışınları ile kırılmaya çalışılır. Isınan hava ile sis tabakası ortadan kalkar. Eğer hava çok sakin ve aşırı nemli

ise güneş ışınlarının radyasyon inversiyonunu ortadan kaldırması zaman alabilir. Radyasyon inversiyonu daha çok sonbahar ve ilkbahar aylarında meydana gelir (Öztürk 2017).

Hava akımı arazinin engebe ve düzlük durumuna göre çeşitlilik göstermektedir. İversiyon tabakası kararlı bir hava kütesini oluşturur. Mutlak kararlılıkta olan bu tabakada güçlü hava hareketleri gerçekleşemez. Çanak biçimli coğrafyalarda oluşan diğer bir inversiyon türü ise soğuk hava terselmesidir. Dinamik kökenli olup diğer tip inversiyonda soğuk havanın sıcak havanın altına inmesi veya sıcak havanın soğuk havanın üzerine çıkması sonucu oluşur. Farklı coğrafyalarda gerçekleşen hava olayları abiyotik faktörlerin etkisiyle hava kirliliğine neden olur. Örneğin soğuk hava terselmesi durumunda kentsel dokuda bulunan kirletici unsurlar yükselerek dağılmadığı için hava kirliliğine neden olur. Bu nedenle kirli hava koşulları değişmediği takdirde asılı kalır. Çevresi yüksek tepeler, gökdelenler ve dağlarla sarılı olan alanlarda meydana gelen bu olaya çökme inversiyonu da denir. Yerden ne kadar yükseklikte oluşmuşsa kirlitecilerin dağılımı o kadar kolay olur. Bu durumda havadaki oksijen miktarının artırılmasına katkı sunmak ideal olacaktır (Sungur 1980; Keser 2002; Karadağ ve Koçman 2007).

Yüksek basınçlı günlerde, sakin hava şartlarında, sıcak deniz, göl veya okyanus esintileri, karaya ulaşmadan önce soğuk hava akımlarının üzerinden geçtiği, arkasında yüksek tepe veya dağ olan şehirlerde adveksiyon inversiyonu gerçekleşir. Yer seviyesindeki soğuk hava tabakası üzerine sıcak hava tabakası yerleşir. İversiyon tabakası kapak gibi hareket ederek tabaka altında bacadan veya egzozdan atılan kirleticilerin tutulmasına neden olur (Öztürk 2017). Kentin topografik yapısı, tropik enlemi ve yüksek kotu ile orta derecede kuvvetli yalıtımı ve kış ayları boyunca zayıf hakim sinoptik rüzgarları nedeniyle Meksika Şehri, termal ve topoğrafik olarak indüklenen dolaşım modellerinden güçlü bir şekilde etkilenir. Bu dönemde gözlemlenen üç gündüz akışın Şekil 1.2.'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Vadi hava akımı akış şeması (Yip and Madl, 2002)

Coğrafi bağlılığın söz konusu olduğu durumlarda farklı referans altlıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Referans altlıklar olarak istasyonlardan alınan emisyon verileri ve topoğrafya verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Topoğrafyanın yukarıda da açıklandığı gibi kirletici madde bölgede yayılırken davranışları değişmektedir. Bu bağlamda kirletici maddelerin haritalanmasında jeostatistiksel yöntemlerle analiz edilmesi dikkati çekmektedir. Arazide ölçüm yapılmamış noktalarda değerlerin tahmin edilmesi için enterpolasyon yapılarak dağılım deseni belirlenmeye çalışılmaktadır. Jeostatistiksel enterpolasyon teknikleri arasında kriging yöntemi en yaygın olarak kullanılan yöntem olarak bilinmektedir (İnal ve Yiğit 2003; Çolak 2010; Kara 2016).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Hava kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalar ve hava kirliliği - kent arasındaki ilişkiyi hiyerarşik biçimde açıklamak üzere 3 ayrı başlıkta literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Üst ölçekte kirliliğinin mekansal değişkenlerle ilişkisini incelemek üzere kent formu ve konut dokusuyla arasındaki ilişki incelenmiştir. Alt ölçekte ise bitki örtüsünün kirliliğin dağılımı üzerindeki etkisini araştıran çalışmalar incelenmiştir.

2.1 . Hava Kirliliği İle İlgili Bilimsel Çalışmalar

Bilimsel anlamda hava kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; sağlık ve ekonomi hava kirliliği başlığı altında birlikte incelenmiş ve çarpıcı sonuçlara ulaşılmıştır. Örneğin Kanada için yapılan bir çalışmada sağlık giderleri açısından hava kirliliği azaltımının insan sağlığına etkisinin 6.8 milyar ABD doları olduğu ispatlanmıştır (Nowak 2018). Kentsel mekanda ise yayılan kirletici miktarını, emisyon yoğunluğunu ve kaynak reseptör yollarını kontrol etme şeklinde farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir (Mc Nabola 2013). Ayrıca yine kentsel mekanda trafik kaynaklı emisyon yayılımına tepki olarak 22 Eylül günü dünyada farklı kentlerde ‘otomobilsiz gün’ ilan edilmiştir.

Sıklıkla gündeme gelen ve rahatsız edici boyutlara ulaşan hava kirliliği Ankara (Çobanyılmaz ve Yüksel 2013; Toros vd 2018), Aydın (Başar vd 2005), Erzurum (Sezen 2002), Edirne (Özşahin vd 2016), Tekirdağ (Karbuş 2016), Iğdır (Koç ve Koç 2018), İzmir (Elbir 2010). kentlerinde topoğrafik, iklimsel, yapay unsurlarla ilişkilendirilerek farklı yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

Önemli bir stratejik noktaya sahip olması ve kalkınma dinamiklerinin akademik ve yerel yönetim düzeyinde ortaya çıkarıldığı Erzurum kentinde yaşam konforunu olumsuz etkileyen hava kirliliği Çevre Mühendisliği, Peyzaj Mimarlığı, Meteoroloji, Ziraat Mühendisliği gibi farklı disiplinler tarafından araştırma konusu olmuştur (Elkoca 2003;

Ocak ve Turalioğlu 2009; Sezen ve Yılmaz;2010). evre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2015 yılında pasif örnekleme metoduyla seyyar 32 istasyon kurulmuş ve kentte hava kirliliği ölçümleri yapılmış ve sonuçlara göre hava kirliliği gözlem istasyonları kurulmuştur (ŐŐB 2015). Ayrıca bilimsel düzeyde st ölçek yeşil alan planlaması yaklaŐımıyla kentteki hava kirliliği sorunu için zm nerileri geliştirilmiştir (Dursun vd 2015).

2.2. Kent Formu ve Hava Kirliliği Arasındaki İlişki

Kent formları çizgisel, iŐınsal, konsantrik, semer, yay ve muhtelif biçimli olmak üzere altı gruba ayrılmaktadır (Aru, 1998). Hava kirliliği kent formuna göre farklı dağılım özellikleri göstermektedir.

Mevcut literatürde kentte hava kirliliği sorunu için emisyon kaynaklarına odaklanmakta kent formu yeterli derecede vurgulanmadığı gerekçesiyle literatürdeki boşluğu doldurmak amacıyla 12 yıllık kirletici madde verileri kullanılarak kentte hava kirliliği seviyesindeki değişim incelenmiştir. Bulgular kentin büyüklüğü, kent düzensizliği ve kent parçalılık durumu kriterlerine göre değerlendirilmiştir (Zhou *et al.* 2018). Kentsel sürekliliğin olduğu yerleşim alanlarında kentsel sıçramanın olduğu bölgelere göre daha uygun hava Şartlarına sahip olduğu bulunmuştur (Rodriguez *et al.* 2016; Lu and Liu 2018). inde ki 83 kenti kapsayan farklı bir çalışmada kentsel hava kirliliğinin Şehir büyüklüğüyle doğru orantılı bir Şekilde arttığı incelenmiştir. Kentsel hava kirliliği seviyesi ve peyzaj kompozisyonu metrikleriyle arasında güçlü bir korelasyon saptanmıştır. Kentsel parçalanma yerine çok merkezli kent modeli nerisi geliştirilmiştir. Böylece hem motorlu taŐıtlara talep azaltılacağı hem de sokaklarda yaya eriŐilebilirliđini arttırabileceği vurgulanmıştır (Gong 2015; Mohajeri 2015; Liu *et al.* 2018).

Kent formu ve kirletici madde arasındaki ilişki birçok çalışmada nüfus yoğunluğu, iklim parametreleri ve kent makroformu ile iliŐklendirilmiŐtir. Yıllık kirletici değerleri dikkate alınan çalışmalarda CBS modellemeleri ve lineer regresyon modellerinde analizler

yapılmıştır. İklim, nüfus parametrelerine bağlı olarak kirletici madde oranında artış gözlenmiştir (Stone 2008; Bechle *et al.* 2011; Clark *et al.* 2011). Hava kirliliği ve kent dokusu arasında önemli bir ilişki olduğu incelenmiştir (Bereitschaft *et al.* 2013).

Alan kullanımı da hava kalitesini belirlemede önemli bir etkidir. Kent formu içerisinde yeşil alanlarda dahil edilerek yapılan çalışmalarda yeşil alanların artışıyla kirletici madde oranında düşme olduğu saptanmıştır (Cho *et al.* 2014). Ormanların korunması ve artırılması hava kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olacaktır (She 2016). Mekansal regresyon modeli kullanılarak incelenen çalışmada kentsel formun araç kullanımı, yeşil alan düzenlemesi, kirletici difüzyonu ve ısı adası etkisi ile PM_{2.5} konsantrasyonunu etkileyebileceğini göstermektedir (Yuan *et al.* 2018).

Kirletici madde gelişmiş kentsel yerleşim alanlarında yüksek bir seviyeye sahiptir. Bu alanlarda benzer yüksekliğe sahip binalar PM₁₀'un dağılımını önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Birincil yola olan uzaklık, bina katlarının standart sapması ve ortalama bina katları, rüzgar havalandırması tüm kirleticilerin mekansal dağılımını etkileyen önemli kentsel form özellikleri olarak saptanmıştır (Li *et al.* 2018). Farklı bir çalışmada yerleşim alanı içerisinde PM_{2.5} konsantrasyonu ile en yüksek korelasyona sahip kentsel form parametrelerinin bina morfolojik faktörleri, hacim yoğunluğu, bina kapsama oranı ve bina yüksekliği olduğu tespit edilmiştir (Shi *et al.* 2018).

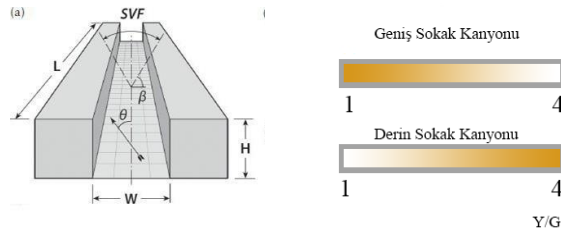
2.3. Konut Dokusu ve Hava Kirliliği Arasındaki İlişki

Kent morfolojisi içerisinde konut dokusu sosyal, ekonomik, topoğrafik özelliklere göre farklılık gösterir. Konut dokuları tekli konut, sıralı konut, toplu konut, gecekondü, teras ev, apartman ve site tipi şeklinde değişkenlik göstermektedir (Özgüven 2008; Akalın 2016). Yerel izleme ağları genellikle kentsel kanyonlar etrafındaki güçlü mekansal gradyanları yakalamak için yeterince yoğun değildir ve çoğu zaman kirlilik sıcak noktaları gözardı edilir (Vardoulakis *et al.* 2011). Farklı topoğrafik şartlarda, heterojen konut dokusu dağılımının olduğu yerleşim alanlarında kirletici dağılımı da farklılık göstermektedir. Mikro ölçekten bakıldığında farklı konut dokularında topoğrafik,

iklimsel, ekonomik şartlarda göz önünde bulundurularak konut dokusu içerisinde kirletici maddenin dağılımının anlaşılmasına ışık tutacaktır.

Kanyon Geometrisi

Kentsel kanyon, yüksek binaların ve dar sokakların birlikte meydana getirdikleri kentsel boşlukları belirtmektedir (Canan, 2017). Gökyüzü Görünümü Oranı (GGO) ve Açık Alanların Oranı (ROS) birçok araştırmacı tarafından kanyon geometrisini tanımlamak için uygun parametreler olarak kabul edilmiştir. Sokak kanyonunun boyutları genellikle en boy oranı ile ifade edilir ve 0 ile 4 arasında bir değer alır. Kanyonun yaklaşım oranı 1'e eşit ise ve kanyonun oluşturan yapılar arasında geniş açıklıklar yoksa düzenli, bina yüksekliğinde önemli farklılıklar varsa heterojen dağılım olduğunu göstermektedir. Kanyon geometrisi oranlarında '0' bölgede bir yapılaşma olmadığı, '4' ise derin kanyon formunu temsil etmektedir. GGO değerlerinde ise bu oranların sayısal karşılıkları farklıdır. Değer '1' e yakinken yapılaşmanın az olduğu "1" den az olan ve "0" a yakın durumlarda ise derin kanyon formu belirlemektedir (Gülten 2007).



Şekil 2.1. Kanyon geometrisi hesaplanması (Erell *et al.* 2011)

Binaların ve bitki örtüsünün geometrik özelliklerinden etkilenen GGO doğrudan sokakların yükseklik-genişlik oranlarıyla ilgilidir ve her bir nokta için gökyüzünün görülebilirliği derece olarak tanımlanır. Bu yükseklik-mesafe ilişkisi, hava dolaşımı, rüzgar akışı ve termal enerji emilimini etkileyen kentsel kanyon etkisi olarak da adlandırılmaktadır (Mattsson and Lindqvist, 1985; Bottyán and Unger 2003; Eliasson 1996; Oke 1988).

Büyük kentsel mekanlar için GGO hesaplamasında yazılım modellerinin kullanılması GGO oranının mekansal dağılımını hesaplamak için uygun bulunmaktadır. Termal örüntüleri analiz etmek için olanak sağlayacağı üstünde durulmuştur (Chen *et al.* 2009). GGO değerleri yaz ve kış aylarında karşılaştırmak üzere ArcGIS üzerinden interpolation modülü kullanılarak belli bir lokasyondaki GGO tahminleri tartışılmıştır (Debbage, 2016). GGO değerlerinin mekansal dağılımı GIS verisi olarak işlenmiş ve termal tahminlerde bulunulmuştur (Peng *et al.* 2016). Ayrıca GGO'nin mekan yayılımının haritalanmasıyla da kentsel ısı adası tahminleri yapılmaktadır (Yılmaz vd 2016; Wang 2018). Çoğunlukla şehir ısı adası etkilerini temsil eden sokak kanyonları geliştirilen deneysel teknikleri konu alan çalışmalarda kirleticiler ve sokak kanyonları arasında da güçlü bir ilişki olduğuna dikkat çekilmiştir (Souza and Rodrigues 2003; Vardoulakis 2003).

Alt ölçekte kirletici dağılımı ile ilgili yaklaşımlarda her iki tarafta sürekli olarak dizilmiş binaların bulunduğu nispeten dar bir sokağa hitap eden sokak kanyonları önemli bir karakteristik özellik taşıdığı incelenmiştir (Nicholson, 1975). Bu bağlamda kanyon geometrisi ve kirlilik dağılımıyla ilgili farklı parametreler üzerinden kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır.

Kanyon Karakteristikleri

Sokak kanyonlarının farklı karakteristiklerine göre kirletici maddenin dağılımını konu alan birçok çalışma yapılmıştır. Hollanda'da 132 bölge için yapılan çalışmada binaların serbest hava akışının engellemesini ölçmek için CBS tabanlı bir yaklaşımla Arazi Kullanımı Regresyon Modeli (LUR) kullanılmıştır. NO₂ tahminlerine GGO dahil edilmiş ve sonuçlarda artış gözlenmiştir. Kirletici maddedeki küçük artışa rağmen GGO'deki kontrastlar önemli konsantrasyon farklılıklarına neden olmuştur. Kanyon göstergelerinin hava kirliliğinde dikkate değer parametreler olduğu vurgulanmıştır (Eeftens 2013). 1– 2 boyut oranlarına sahip sokak kanyonlarında kirletici maddenin dağılımı ve foto kimyasal evrimi karbon bağ mekanizması ile sayısal akışkanlar dinamiği modeli kullanılarak araştırılan çalışmada O₃ ve OH oksidasyon süreçlerini

temsil eden konsantrasyon oranlarının, bir sokak kanyonundaki bir hava kütlesini karakterize etmek için ideal olduğu araştırılmıştır (Kwak 2013).

Kent morfolojisi ile şehir merkezinde gözlenen hava kalitesindeki değişimler arasındaki ilişkinin araştırıldığı bir çalışma kapsamında kentsel geometrinin dış mekan kirletici konsantrasyonu üzerindeki etkisinin üzerinde durulmuştur. Orta ölçekli bir kentte dört PM₁₀ izleme istasyonundan toplanan veriler gökyüzü görünürlük oranı (GGO) ve Açık oranı (ROS) ile karşılaştırılmıştır. GGO ve ROS'daki artışın PM₁₀ konsantrasyonunda bir azalmaya yol açtığı sonucuna varılmıştır (Silva 2016).

Doğu Sibiry Krasnoyarsk şehrinde hava kirliliği düzeyini Kentsel Sokak Modeli (USM) ile Kaliforniya Çizgi Kaynak Modeli (CALINE-4) ve Operasyonel Sokak Kirliliği Modeli (OSPM) tahmin edilen sayısal sonuçlar alan ölçümleri ile karşılaştırılmış ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Yolların genişliğini ve binaların yüksekliğini yani kanyonlardaki hava sirkülasyonunu dikkate alan OSPM kirletici konsantrasyon değerlerini fazla tahmin etmiştir. Yolların uzunluğu ve ortalama genişliğini dikkate alan CALINE-4 için konsantrasyon değerleri daha düşük çıkmıştır. Yolların genişliğini, binaların yüksekliğini, bina yoğunluğunu ve geçirgenlik seviyesini kullanan USM ise daha eksiksiz bir yaklaşım sergilemiştir. Simetri yaklaşımı ve bina yoğunluğu kullanılarak hesaplanan geçirgenlik, kentsel hava kirliliği modelleme ve bina planlaması için gerekli ve kullanışlı parametreleri sağlamaktadır. Farklı modeller arasında yapılan bu deneyler sokak kanyonunda kirleticilerin yolların uzunluğu, genişliği, bina yoğunluğu, yüksekliği gibi faktörlerle karakterize edildiğini daha net bir şekilde sunmaktadır (Taseiko 2009).

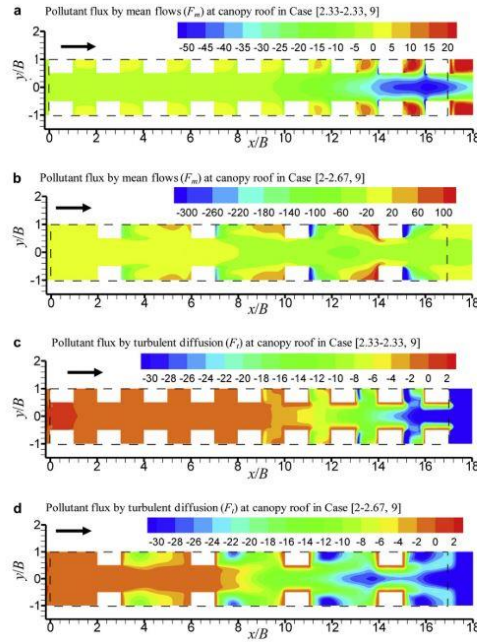
Hava kirliliği ve kentsel mekan arasındaki ilişkiye dair yapılan araştırmalardan bir diğesinde ise İngiltere'deki kentler için trafik kaynaklı kirlilik emisyon değeri mekansal verilerle birlikte kullanılarak sokak ağı verimliliği analiz edilmiştir. Uzunluk entropisi ve ortalama sokak uzunluğu arasında güçlü bir doğrusal pozitif korelasyon ve entropi ile sokak yoğunluğu arasında negatif bir korelasyon olduğu doğrulanmıştır (Mohajeri 2015).

Cadde ve sokak ölçeğinde şehir modelleri dairesel formlu, kare formlu ve dikdörtgen formlu şehir modelleri tanımlanarak yapılan çalışmada makroform sınırı ile kirletici dağılımı arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Ana cadde (en / boy oranı, $H / W^{1/4}$; $L / H^{1/4}$) veya iki dikey geçiş caddesi (ana ve ikinci cadde; H / W) tarafından iki veya dört bölüme ayrılmış, kirlilik yoğunluk alanlarını ve türbülans akışı için CFD yazılımı aracılığıyla rüzgara paralel, 15, 30, 45 dereceli açıyla ana caddeye göre analiz edilmiştir. Dar caddeye sahip dairesel formlu modelde paralel yaklaşan rüzgârda kirleticinin hareketi sokakta önce yukarı doğru bir dağılım göstermiş sonrasında rüzgar altı akışına doğru geri dönüş yapmıştır. Kirletici, sokak çatısından kaldırılmadan önce caddenin iki ucunda dağılım gözlenmektedir. Dairesel formlu şehir modellerinde ana caddelerin yerel hakim rüzgarla paralel tasarlanması kirletici dağılımında daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır. Dikdörtgen formlu şehir modelinde; kirletici birikiminin, cadde boyunca ortalama yatay akış hızının neredeyse sabit olduğu ve tam gelişmiş bölgede ortalama akışlara dikey yönde daha az kirletici taşıdığı bulunmuştur. Bu doğrultuda uzun sokak koşullarının aşağı akıntılı bölgesinde kirletici maddelerin uzaklaştırılması için sokak çatısı boyunca türbülanslı taşımının oldukça önemli olduğu saptanmıştır. Kare formlu şehir modellerinde ise paralel ve dik olmayan yaklaşan bir rüzgar yönü ile, caddede sarmal akış bulunabileceği böylece cadde boyunca kirletici madde seyreltme kapasitesinin zayıfladığı, ancak sokak çatılarındaki kirletici maddelerin uzaklaştırılmasının biraz daha güçlendirilebileceği tespit edilmiştir. Kare formlu şehir modellerinde ise rüzgar açısı 0'dan 45'e kadar artış ana caddelerde kirletici seyreltmesine katkı sunmaktadır. Daha büyük açılarda genellikle binalar nedeniyle daha güçlü sürtünme meydana gelmekte ve kirleticinin seyreltilmesi için sokak ağları boyunca akış hızları azalarak kirleticinin dağılması zayıf kalabilmektedir. Yatay akış oranı ve cadde uzunluğu kirleticinin dağılımı için önem arz etmektedir (Hang *et al.* 2009).

9-18 aralığında değişen yüksek katlı bina dizilerinde kirletici dağılımı araştırılmıştır. Rüzgar ve izotermal koşullar dikkate alınarak kirleticilerin uzaklaştırılmasında sayısal olarak ortalama akış, türbülans ve net havalandırma kapasitesini ölçmede normalleştirilmiş kirletici taşıma oranları ve akış hızı etkili kavramlar olarak ortaya

çıkılmıştır. Tek biçimli bina yüksekliğine sahip yapılar için en boy oranlarının düşmesi ve sokak uzunluklarının artırılması kirleticinin yayılma kapasitesini güçlendirip dolayısıyla kirletici maddenin çıkarılmasında önemli rol oynadığı saptanmıştır. Sokak uzunluğu arttıkça genel temizleme kapasitesi arttığı ancak toplam kirletici salma oranının artması alt akış bölgesinde kirleticinin etkisine bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir (Hang *et al.* 2012).

Pekin şehir merkezi üzerinde kirletici maddenin yaya seviyesinde dağılımları çeşitli kanyon geometrisi yapılandırmaları altında Sayısal Akışkanlar Dinamiği (CFD) ile modellenmiştir. Bina yüksekliğinin kirletici konsantrasyonları üzerindeki etkisi için, daha yüksek binaların sokak kanyonlarında havalandırmayı engellediği, sokak kanyonlarında daha yüksek kirletici yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bina yüksekliği 20 m'den 40 m'ye çıkarılması kirletici yoğunlaşması üzerinde çok az etkiye sahipken, 40 m'nin üzerinde olduğu durumda ise sokak kanopisindeki kirletici konsantrasyonlarının hızla arttığı gözlenmiştir. Sokak boyunca eşit olmayan bina yüksekliğinin kirletici dağılımını önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Artan sokak genişlikleri ise düşük kirletici yoğunlaşmaları NOx emisyonlarını %29 oranında, CO için %57 oranında azaltarak kanyondaki havalandırmayı artırdığı tespit edilmiştir (Fu 2017). Düzenli sokak kanyonları, kanyonun asgari düzeyde havalandırılmasını sağladığı için kirleticilerin giderilmesinde nispeten etkilidir (Hunter *et al.* 1992).



Şekil 2.2. Kanyon geometrisi ve rüzgar ilişkisi (Hang 2012).

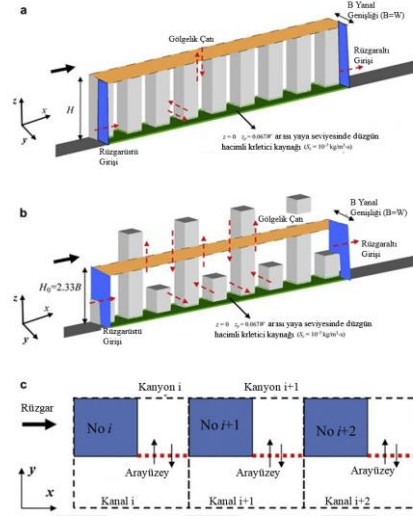
Kanyon geometrisinde sokak uzunluk ve genişlikleri, bina yükseklikleri dışında kanyon içerisindeki rüzgarın hareketi de kirletici maddenin seyreltilmesi için önem arz etmektedir. Görünür gökyüzü konumu, rüzgar akış rejimini ve hızını tetikleyerek caddenin mikrometeorolojik koşullarını değiştirmektedir (Qaid 2017). Sokak kanyonlarının iklimi, sınır çizgisinin iklimini kontrol eden mezosal kuvvetlerden ziyade kentsel geometrinin mikro-meteorolojik etkileri tarafından kontrol edilmektedir (Hunter *et al.* 1992). Çatı üstü rüzgar koşulları ve kanyonun boşluğu içindeki yerel rüzgar akışı arasında belirgin bir ayrım yapılmıştır. Serbest akış hızına bağlı olarak, üç ana dağılım koşulu: 1:5m/s'den daha düşük sinoptik rüzgarlar için düşük rüzgar koşullarında kentsel alanlardaki hava kirliliğini önleyen iyi bilinen bir meteorolojik durum oluşturmaktadır (Qin and Kot 1993; Vignati *et al.* 1996; Jones *et al.* 2000). 1: 5m'nin üzerindeki sinoptik rüzgarlar için dik veya yakın dik akışlar ve 1: 5m/s'nin üzerinde rüzgârlar için paralel veya yakın paralel akış olarak tanımlanmıştır. Dik akış durumunda, kanyonun yukarı rüzgar tarafına genellikle alt akış denmektedir. Çatı akışı kanyona dik olduğunda ve rüzgar hızı 1:5–2 m / s olduğunda; caddenin boyutlarına bağlı olarak akışta izole pürüzlülük akışı, uyandırma giriş akışı ve kayma akışı şeklinde üç akış rejimi tanımlanmıştır (Oke 1988).

Karbon monoksit, nitrojen ve kükürt dioksit konsantrasyonları ve 0.8 en boy oranına sahip bir kentsel sokak kanyonunda taşıt tipi ve trafik akış hızları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Kanyonla ilgili olarak yükseklik arttıkça kirleticinin azalmış olduğu ve rüzgar altı akışı tarafına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Rüzgar hızı 1.0 m/s'nin altında olduğu zaman rüzgar tarafına göre alt akış tarafında %9–16 daha yüksekken, rüzgar hızı 2 m/s ile 4 m/s arasında olduğu zaman %64–107 daha yüksek çıkmıştır. 3D simülasyonlar, akıcılığın caddenin dış köşesinden alt akıma doğru kanyonun tamamında hareket ettiğini, cadde boyunca menderesin kanyon açıklığından ayrıldığını ortaya koymaktadır. Dış havanın sürüklenmesi, ikincil akışın mevcut olduğu sokak çıkışının yakınındaki kirletici konsantrasyonlarını azaltmaktadır (Tsai and Chen 2004). Ana caddelerde havalandırma ve hava değişimi esas olarak yatay akış hızına hakimdir. İkincil sokakta havalandırma ve hava değişim oranları esas olarak cadde çatılarındaki dikey akış hızlarına ve ana cadde ikincil cadde arasındaki ara birimler boyunca yanal akış hızlarına bağlı olduğu tespit edilmiştir (Hang and Li 2010). Nispeten güçlü hava kirliliği atakları, çoğunlukla 3 m/s - 1 m/s den daha az olan düşük rüzgar hızıyla ilişkili hava koşullarına karşı şiddetlenmektedir (Ketterer and Matzarakis 2014a).

Sokak kanyonlarında, kirleticiler, kanyonun içinde oluşan bir girdapta sıkışıp binaların üzerindeki atmosferle dikey hava değişimini sınırlandırmaktadır (Vardoulakis *et al.* 2003). Bu genellikle çevre standartlarına uymayan yüksek yerel kirletici konsantrasyonları ile sonuçlanır (Vardoulakis *et al.* 2007). İdeal kanyon genişliği olarak tanımlanan $H/W=3$ oranına sahip kent geometrisinde, iyi bir şekilde yerleştirilen binalar, havadaki izole pürüzlülük unsurlarını harekete geçirmektedir. Çünkü hava, bir sonraki engelle karşılaşmadan önce, rüzgarın aşağıya doğru ilerlemesini sağlamaktadır. Binalar arası mesafenin azalması girdap oluşumunu tetiklemektedir. Düzenli kanyonlarda sinoptik akış, kanyonda tek bir girdap oluşumu ile karakterize edilen kayma akışını meydana getirmektedir (Hunter *et al.* 1992). Nispeten kısa kanyonlarda, köşe kısıntıları orta kısımdaki sokağa dik, durağan bir girdabı engellenmesi söz konusuken bu havalandırma etkisi sokak uzunluğu arttıkça kaybolmaktadır (Theurer 1999). Sokak kanyon girdabının oluşumu, aynı zamanda, atmosferik koşulların (Nakamura and Oke 1988) istikrarına ve 1.5 – 2 m/s'nin üzerindeki çevre rüzgar

hızlarına da bağlıdır (DePaul and Sheih 1986). Kanyonun içindeki rüzgar girdaplarının diğer bir nedeni de çatı seviyesinde rüzgar hızına dayanmaktadır. Bununla birlikte, yerel rüzgar akışı da mekanik türbülansla belirlenen taşıt araçları veya caddede ağaçlar, yapılar, balkonlar, eğimli bina çatıları gibi pürüzlülük elemanları olarak gösterilebilir (Eskridge and Rao 1986; Hoydysh and Dabberdt 1994; Theurer 1999). Klein and Clark (2007), çatının üzeri rüzgardaki küçük bir varyasyonun sokaktaki akış özelliklerinde bir değişiklik yarattığını ve değişken rüzgar koşullarında girdabın oluşmadığını bulmuşlardır. Çatının üstündeki rüzgârın değişkenliği kesişme noktalarında da önemli bir etkiye sahiptir; küçük değişimler büyük ölçüde akışkan akışların dağılımını değiştirebilmektedir (Klein *et al.* 2007; Balogun *et al.* 2010).

Sokak kanyonlarındaki ortalama rüzgar akışı ve türbülans üzerindeki etkisinin yanı sıra akış özelliklerinin yakalanmasında sayısal benzetim tekniklerinin incelendiği çalışmada fiziksel ve sayısal deneylerden kent geometrisi ve girdapla ilgili önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Kanyon içi girdap dinamiği ve aşırı gölgelik akış koşullarının, binaların geometrik özelliklerine güçlü bir şekilde bağlı olduğunu, eğimli ve yuvarlak çatı geometrilerinin kanyon içi kirletici dağılım ortalamasını artırdığı ve kayma tabakasının derinliğinin yanı sıra türbülans hızları da kirletici dağılımını etkilediği saptanmıştır. Ayrıca balkon gibi küçük ölçekli özelliklerin de akışı etkileyeceğine dikkat çekilmektedir (Liaguno *et al.* 2017). Şekil 2.3’de çatı rüzgar akışı verilmiştir.



Şekil 2.3. (a) eşit bina yüksekliği ile, (b) farklı yükseklikteki binalar ile, (c) kanyon, kanal ve yüzey birimlerinde yaya seviyesi ve çatı kanopisi modellemesi (Hang 2012).

Rüzgar Yönü

Almanya’da kentsel sokak kanyonundaki kirlilik seviyelerini, Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) yaklaşımı kullanılarak, gerçekçi koşullar altında Uzaktan Optik Ölçüm Teknikleri (ROMT) değerlendiren çalışmada ışın yolu uzunluğu ve yüksekliği ile kanyondaki kirlilik dağılım alanının içsel konsantrasyon karakteristikleri arasında bir denge aranmıştır. Hesaplamalar bölgenin rüzgar gülüne göre seçilen iki farklı rüzgar yönü için yapılmıştır. Hakim rüzgarların güney-doğu (SE) ve güneybatı (SW) ile en yüksek serbest akma yoğunluğu 9 m/s’dir. Sokak aksı boyunca konsantrasyon seviyeleri rüzgar yönünün değişmesi ile belirgin bir şekilde değişmektedir. Eğik cadde eksenine yerleştirilmesinin, uzun ışın yolundan dolayı daha yüksek bir toplam konsantrasyon göstermesine rağmen, göstergenin rüzgar yönüne yüksek bağlılığının, bu durumu, dikine göre daha az elverişli hale getirdiği belirtilmiştir (Neofytou *et al.* 2006).

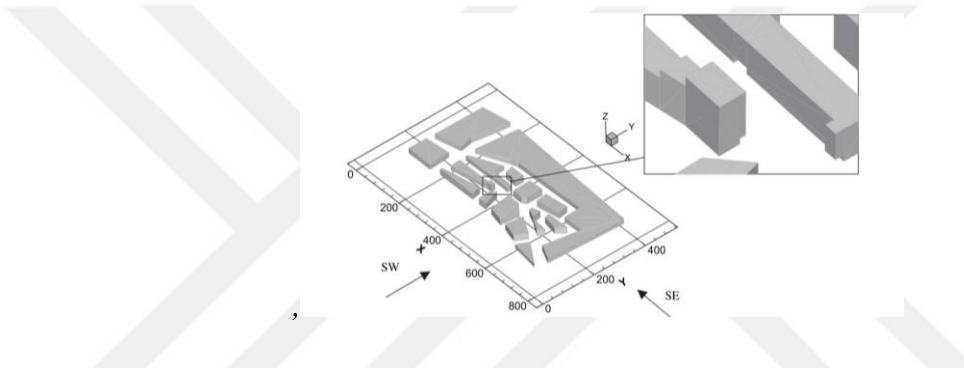
Sokak kanyonundaki motorlu taşıt emisyonlarının difüzyonunu etkileyen faktörleri analiz etmek ve kirlenici dispersiyonun araştırma yöntemini belirlemek üzere yapılan çalışmada farklı rüzgar hızının ve rüzgar yönünün akış alanı üzerindeki etkisini ve sokak kanyonundaki kirlenici dağılımı simüle edilmiştir. Sokak açısı sırasıyla 15°, 30°,

45°, 60°, 75° ve 90° olarak belirlenmiştir. Sokak kanyonunun her iki tarafındaki rüzgar yönünün çatısı kanyon içindeki hava akışı üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptir. Rüzgar, sokak içindeki hava akışını etkileyerek, kirletici maddelerin boşaltılan sokak aracının difüzyonundaki farka neden olur. Dikey ve eğimli olan sokak kanyonlarının alt akış tarafı kirletici konsantrasyonları daha yüksektir. Sokak kanyonuna paralel olan çatı rüzgarı olduğunda, sokak kirleticileri daha kolay yayılır ve bina yüzeylerinde birikmesi kolay olmaz. Rüzgar ve sokak kanyonları açısı artışı ile kirletici bina yüzeyinin birikmesi olgusunu üretebilir. Aynı zamanda rüzgar hızının artması, sokak vadisindeki binanın yüzeyindeki rüzgar basıncını artırarak binanın doğal havalandırma oranını artıracaktır. Sokak kanyonunda kirlilik ve üst atmosferik difüzyon değişimi yoğunlaşmakta, bu da sokak bina yüzeyinde kirletici konsantrasyonu azaltmaktadır. Sonuçlar rüzgar hızının ve rüzgar yönünün kanyondaki hava akışı ve kirletici dağılımı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Zhang *et al.* 2015).

Qin and Kot (1993), Meroney *et al.* (1996) ve Eliasson *et al.* (2006), sokakta rüzgarın daha zayıf türbülans koşullarında ölçülmesi durumunda girdapların daha az kalıcı olduğunu bulmuşlardır. Hannover / Almanya'da deneysel bir saha çalışması yürütülmüş ve rüzgarın sokak kanyonuna dik, eğik veya paralel olmasına bağlı olarak konsantrasyonların azaldığını veya arttığını incelemiştir (Schatzmann *et al.* 2000). Çalışma kapsamında heterojen kentsel sokak kanyonundaki hava akışı ve kirletici konsantrasyonları rüzgarın doğal değişkenliği dahil olmak üzere bir dizi alan ölçümü ile mevcut koşulların etkisi araştırılmıştır. Heterojenlik, rüzgar hızı ve CO konsantrasyonlarının rüzgarın aslında oldukça değişken olma durumu ile tanımlanmıştır. Balkon gibi farklı mimari özelliklerin rüzgar hızını etkilediği tespit edilmiştir. Sokakta H/W'ye bağlı olarak veya çatı rüzgarının yönüne bağlı olarak bir veya daha fazla girdap oluşabilmekteyken heterojenlik söz konusu olduğunda akışta önemli ölçüde farklılıkların meydana gelebileceği tespit edilmiştir (Neophytou 2014; Karra *et al.* 2017).

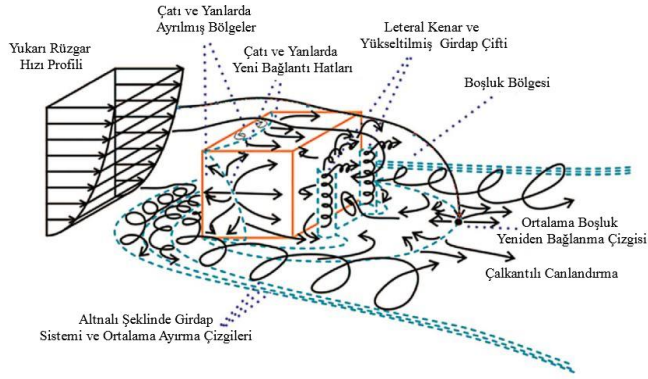
Kentsel ortamlardaki türbülanslı akışların karmaşıklığı nedeniyle zorlu olan sokak kanyonlarındaki kirliliğin tahmini üzerinde çalışma yapılmıştır. Çalışmada, bir sokak

kanyonunun havalandırılmasının ya da kirlenmesinin sadece incelenen kanyonun geometrisine değil, aynı zamanda kesişme noktasındaki bitişik sokak kanyonlarının geometrisine de bağlı olduğunu gösterilmiştir. Bir sokak kanyonunun daha iyi havalandırılması için, kanyonun daha aşağıda olan üst çatılara sahip olması ve bu üst çatıların bitişik sokak kanyonlarından daha düşük olması önemli bulunmuştur. Sokak kanyonu çatı yüksekliği eşitsizliğinin sokak kanyonunun havalandırmasını iyileştirmediğini ve sokak kanyonu havalandırması ya da kirliliğinin değerlendirilmesi için rüzgar yönünün dikkate alınması gerekliliğine dikkat çekilmiştir (Nosek 2018).



Şekil 2.4. Bitişik sokak kanyonu şematik gösterimi (Neofytou *et al.* 2006).

Kentsel sokak kanyonunda cadde en boy oranına sahip reaktif kirletici dağılımı CFD modeli kullanılarak sayısal olarak incelenen çalışmada girdap merkezinin zaman içinde kanyon boşluğunun içine uzandığı ve çapraz kanyonun ortalama sıcaklık ve reaktif kirletici konsantrasyonlarının zaman serilerinin sıcaklık NO ve NO₂ konsantrasyonları ile periyodiklik sergilediği bulunmuştur. NO₂ konsantrasyonu için adveksiyon veya türbülanslı difüzyon büyüklüğünün kimyasal reaksiyondan büyük olduğu ancak O₃ konsantrasyonu için kimyasal reaksiyonun karşılaştırılabilir olduğu saptanmıştır. Kentsel bir sokak kanyonunda akış ve reaktif kirletici dağılımının karakteristikleri sokak tabanındaki ısı derecesine bağlı olarak değiştiği vurgulanmıştır (Baik *et al.* 2007).



Şekil 2.5. Az katlı (3-9 m) bina çevresinde atmosferik sınır katmanında rüzgar dolaşımı (Blocken 2011)

2.4. Hava Kirliliği ve Yeşil Alanlar

Sokak kanyonlarında hava kirliliği ile kent içi ağaçlandırmanın etkileşimleri incelenmiştir. Kentsel hava kalitesi çalışmalarında mikro ölçekte sokak kanyonlarında, mezo ölçekte kent içi mahallelerde ve makro ölçekte kent bütününde yeşil alanların farklı etkileri saptanmıştır. Kentsel bitki örtüsü hava kalitesinin yanında kentsel çevrede gölgelik bir ortam sağlama, CO₂ depolama, kentsel ısı adası etkisini azaltma, kentsel biyoçeşitliliği enginleştirme, gürültüyü azaltma gibi çok çeşitli roller oynar (Bolund and Hunhammar 1999). Ayrıca ağaçlar ve çalılar güneş radyasyonunu ve gün boyunca çevrenin yüzey sıcaklığını azaltıp geceleri ısı alışverişini önleyerek binalardan ısı akışını önler (Huang 1987; Heisler 2000; Akbari 2002).

Vejetasyon kentsel açık hava kalitesini olumlu yönde etkilemektedir; hava kirleticilerin kuru çökeltme işlemiyle giderilmesi, fotosentez işlemiyle CO₂ ayrışımı ve dumanla (O₃) oluşum süreçlerini yavaşlatarak ortam sıcaklığını soğutur. Hava kirletici sorunlarının en aza indirgenmesi için kentsel bitki örtüsü kullanımı genellikle konsantrasyonları azaltmak için önlem olarak teşvik edilmektedir. Bu önlem genellikle kirletici maddelerin filtrelenmesi yoluyla havanın temizlenme kabiliyetine sahip olduğu temelindeki argümana dayanmaktadır. Vejetasyon yaprakları gaz halindeki kirleticileri stomalarından emerken, parçacıklar yapraklar ve dallar üzerine depolanarak havadan uzaklaştırılır. Farklı çalışmalarda da filtrasyon kabiliyeti deneysel olarak kanıtlanmıştır

(Lovett 1994; Beckett *et al.* 2000; Freer-Smith *et al.* 2005). Parçacıkların bitkiler tarafından atmosferden uzaklaştırılması, gün boyunca ve yıl boyunca bitki yaprakları ile partikül depolanması ağaçların kabuklanması yoluyla gerçekleşmektedir (Nowak *et al.* 2006). Ayrıca belirli mevsimlere ve kirletici emisyonlarına, vejetasyon türlerine ve meteorolojik koşullara bağlı olarak partikül madde birikimi değişmektedir (Jim and Chen 2008; Schaubroeck *et al.* 2014). Yapılan bir çalışmada kentsel ağaçların yıllık 88 ton kirliliği ortadan kaldırılması konusunda hava kalitesini artırıcı ve yerel emisyonları dengeleyici rolü olduğu saptanmıştır (Wania *et al.* 2012). Ayrıca ağaçlar büyük yüzey alanlarından ve bunların içinden geçen hava tarafından üretilen türbülanslı karışım nedeniyle partikül madde giderimi için en verimli araç olarak kabul edilir (Beckett *et al.* 2000).

Kentsel ölçekte kentsel rüzgar alanının havalandırmayı etkilemede de yeşil alanların maksimizasyonu ideal etki oluşturmaktadır. Erzurum için yapılan çalışmada kentte yeşil alanlarla rüzgar koridorları önerilmiş ve hava kalitesini iyileştirmede önemli bir katkı sunacağı tespit edilmiştir (Dursun vd 2015; Chen *et al.* 2016).

Aynı zamanda kentsel yeşil altyapı sistemleri de bu ölçekte değerlendirildiğinde yeşil dokunun hava kirliliğini en aza indirmede önemli rol oynadığı vurgulanır. Yeşil çatılar, yeşil duvarlar ve kentsel ağaçlandırma gibi yeşil altyapıların kente entegre edilmesi aşırı hava olaylarıyla başa çıkabilmek için düşük maliyetli ve uygulanabilir stratejiler olarak işaret edilmiştir (Carvalho *et al.* 2017; Rafael *et al.* 2018; Buccolieri *et al.* 2015).

Kentte havayı soğutma etkisi olduğu kabul edilen yeşil çatı uygulaması alt ölçekte CFD modeli ile incelenmiştir. Bina çatı örtüsünden dolayı üretilen serin havanın sokak kanyonuna aktığı ve sokak kanyonunda güçlendirilmiş hava akımı ile karşılaştığı tespit edilmiştir. Sonuçta kanyondaki hava kalitesinin iyileştirme derecesi artan soğutma yoğunluğu ve rüzgar yönüyle ilişkilendirilmiştir (Baik *et al.* 2012). Sokak kanyonunda ölçüğünde yeşil duvarların kirletici konsantrasyonlarını NO₂ için %40 PM₁₀ için %60 oranında azaltabileceği tespit edilmiştir (Pugh *et al.* 2012; Berardi *et al.* 2014). Ağaçlar

ve çim örtünün aerodinamik etkileri CFD modeliyle analiz edilmiştir. Kirletici maddelerdeki düşüş ağaçlarda %2.8'lik azalma ve çim zemin kaplı yüzeylerde %0.6 lık oranında meydana geldiği incelenmiştir (Jeanjean 2016). Yeşil altyapı sistemi arasında gösterilen yeşil yağmur suyu sokaklarıyla da hava kirliliği arasındaki ilişki incelenmiş, yağmur suyu kontrolü ile hava akımı arasında uyum olması gerekliliğine dikkat çekilmiştir (Smiley *et al.* 2006; Jiawary *et al.* 2016).

Portekiz kentsel yerleşik alanında doğaya dayalı çözümlere dayanan esneklik önlemi rüzgar akışında ve hava kirleticilerinin dağılmasındaki etkisi değerlendirilmiştir. Kentsel yeşil senaryo, yeşil çatı senaryosu, gri senaryo üzerinden incelenmiştir. Yeşil bir kentsel mekanın toplam alanda yaklaşık %16 PM₁₀ ve %19 NO_x hava kirletici oranı azaltılması söz konusu olmuştur. Yeşil çatı uygulaması simülasyonu sonucunda kirletici konsantrasyonunda %60 bir artış gözlenmiştir (Rafael *et al.* 2018). Sonuçlar kentlerde vejetasyonun stratejik bir şekilde yerleştirilmesinin hava kalitesine ve kentsel ortamın sürdürülebilirliğine önemli bir katkıda bulunma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Avustralya için Avrupa ve Amerika'ya oranla yeşil altyapı çalışmalarının yetersiz olduğu öne sürülerek yapılan çalışmada ağaçlar, yeşil çatılar ve yeşil duvarlar için senaryo geliştirilmiştir. Ağaçlar en yüksek kirletici giderme kabiliyetine sahip görülürken Rafalel *et al.* 2018 çalışması ile benzer olarak yeşil çatıların hava kalitesi iyileştirme konusunda önemli bir artış sağlamamış ancak bina enerji tasarrufunu olumlu yönde etkilemiştir. Maliyet açısından da ağaçlar yeşil duvarlar ve yeşil çatılara oranla daha karlı bulunmuştur (Jayasooriya 2017).

Genel olarak yeşil altyapı sistemlerinin kente entegre edilmesiyle ilgili elde edilen sonuçlar vejetasyonun stratejik bir şekilde yerleştirilmesinin hava kalitesinin ve kentsel ortamların sürdürülebilirliğine önemli ölçüde katkı sunduğu yönündedir.

Kentsel yeşil dokunun entegre edildiği alanların mekansal planlaması sırasında kirletici kaldırma kapasitesinden ziyade sokak geometrisi ve rüzgar alanları daha ağır basar (Sashuabar ve Hoffman 2006). Bu nedenle sokak kanyonu ve sokak kesişimleri ölçeğinde rüzgar akışı ve kirletici konsantrasyonlar üzerinde ağaçlar (Balczo *et al.* 2009;

Buccolieri *et al.* 2010; Salim *et al.* 2011; Liveak 2013; Moonen *et al.* 2013; Vos *et al.* 2013; Wania *et al.* 2012) niteliksel ve akış alanındaki niceliksel değişikliklerle değil kirliliğin mahalle ölçeğinde tartışılması gerekliliğini vurgulamışlardır. Kalitatif değişiklikler bir yandan sokak kanyonlu ölçeğinden ziyade kentsel mahallede çalışmanın ve bütünleşik bitki örtüsünün hesaba katılması gerekliliğini vurgulamışlardır. Sokak ağaçlarının genel bir kentsel mahallede kirletici yayılımı CFD ile analiz edilmiştir. Akış alanındaki önemli değişimlerin nedeni olarak ağaçlar gösterilmiştir. Hava kalitesiyle ilgili olarak ağaçların kentsel mahallede kirletici yoğunluğu oranında artışa neden olduğu saptanmıştır (Gromke 2015).

Sokak kesişimlerinin ve kentsel mahalle ölçeğinde ağaçların rolünün daha iyi anlaşılması için kentsel alanların ortak bir alt sistemi olan sokak kanyonlarının incelenmesini gerekli kılmaktadır. Kirletici dağılımı farklı ölçeklerde hava kirleticileri taşıyan ve bunları seyrelten rüzgar sistemlerinin tanımlamalarına dayanmaktadır. Çoğu kirletici dağılım çalışması gölge, nem, soğuk havayla ilişkilendirilen bitki örtüsüyle birlikte incelenmiştir (Lee and Park 2008; Lindberg *et al.* 2008; Baik *et al.* 2012). Sokak kanyonlarında kirleticinin dağılımı bir önceki bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Gerçekte rüzgar hareketleri ve girdaplar hem yapı tasarımı hem de bitki örtüsü tarafından etkilenmektedir (Ng and Chou 2012). Sokak kanyonlarında CFD yoluyla aerodinamik etkileriyle ilgili yapılan çalışmada yaya düzeyinde kirletici konsantrasyonlarını etkileyen çeşitli parametreler tanımlanmıştır. Söz konusu parametreler ağaçların filtreleme kapasitesi aerodinamik etkisi, ağaçların konumlandırılması, taç morfolojisi, ağaçlandırma tasarımı, kanyon geometrisi, rüzgar yönü ve rüzgar hızı, kirletici tipi olarak sıralanabilir.

Çeşitli deneysel çalışmalarda ağaçların sokak kanyonlarındaki kirletici dağılımını önemli ölçüde değiştirdiği tespit edilmiştir (Buccolieri *et al.* 2011; Salmond 2013; Setala *et al.* 2013; Al-Dabbous and Kumar 2014; Jim *et al.* 2014). Rüzgar tüneli deneyleriyle bitki örtüsünün özellikle PM₁₀ olmak üzere polimerler üzerinde önemli birikim etkisi olduğu saptanmıştır (Yu *et al.* 2008; Lin and Khlystov 2012; Hand *et al.* 2013; Di Sabatino *et al.* 2015; Ortolani *et al.* 2016). Kent içi ağaçlandırmanın kirletici

kapasitesini tahmin edebilecek biriktirme modeli geliştirilmiş, modelin kullanıldığı birçok şehirde etkileyici kirletici kaldırma tahminleri rapor edilmiştir (McPherson *et al.* 1994; Nowak *et al.* 2012). Ağaçlar büyük yaprak yüzey alanlarından ve bunların içinden geçen hava tarafından üretilen türbülanslı karışım nedeniyle partikül maddelerin ortadan kaldırılması için önemli bir araç olarak görülür (Beckett *et al.* 2000).

Ağaçların kirletici maddeler üzerinde çökelme etkisi sağlayarak hava kirliliğini azalttığı yönündeki doğrulama farklı bir çalışmada önemsiz bulunmuştur (Jenjean 2016). Kentsel ölçekte kirletici maddenin azaltılması konusunda birçok araştırma yapılmış, ağaçların pasif filtreleme etkisinden ziyade yerel rüzgarın kirletici dağılımında daha önemli olduğu bulunmuştur (Chen *et al.* 2015). Yapılan deneysel çalışmalar ağaçların aerodinamik etkileriyle ilgili ağaç dikiminin ağaçsız duruma oranla kirletici konsantrasyonlarında büyük bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Salim 2011). Sokak kanyonundaki ağaçlandırma rüzgar akışını değiştirerek kanyon pürüzlülüğü özelliklerine etki etmektedir. Ağaçlar kanyon havalandırmasını engelleyerek kirletici maddelerin seyreltilmesini azaltmakta ve yerel kirletici konsantrasyonlarda artışa neden olmaktadır (Gromcke and Ruck 2007; Buccolieri *et al.* 2009; Wania *et al.* 2011; Salmond *et al.* 2013; Vos *et al.* 2013; Gallagher *et al.* 2015; Li *et al.* 2016; Tang *et al.* 2016).

Nispeten dar sokak kanyonlarında ağaçlar blokaj etkisine neden olmakta ve kanyon girdabında dönen hava kütlesi sokak üstü seviyesinden yanlara doğru azalarak hareket etmektedir. Özellikle daha büyük sokak kanyonu oranına sahip alanlarda düşük rüzgar hızında ağaç dikimi ile sokak kanyonunda nispeten daha az hava dönmekte bu da ağaç dikiminin yaklaşan rüzgar hızına bağlı olduğunu doğrulamaktadır (Salim 2011). Dik rüzgar alt akışa neden olarak kirletici konsantrasyonunda artışa neden olmaktadır (Buccolieri 2008; Gromcke 2015; Di Sabatino *et al.* 2015). Kent bitki örtüsü modülü geliştirilerek yapılan çalışmada 45° ve paralel olmak üzere iki farklı rüzgar yönü için araştırma yapılmış rüzgar yönüne paralel sokak kanyonunda daha iyi havalandırmadan dolayı düşüş olduğu kaydedilmiştir (Amorim 2013). Benzer bir çalışmada da 3 m/s ve 5 m/s olmak üzere iki farklı rüzgar hızında paralel ve dikey yönlü rüzgarlar olmak üzere

senaryolar geliştirilmiştir. Dikey rüzgarlar için hava değişiminin ana mekanizması çatıdan geçmekte ancak girdapların varlığı sokak içindeki kirletici dağılımını azaltmaktadır. Dik yaklaşan rüzgarlar için bina çatı yüksekliğinin üzerindeki bitki örtüsünün kirletici konsantrasyonunu artırabileceği önceki bulgularla doğrulanmıştır (Buccolieri 2018). Özellikle yol kenarındaki ağaçların varlığı, dik rüzgar koşulları nedeniyle alt akışta kirletici yoğunluğunun belirgin artışına neden olmaktadır (Salmond *et al.* 2013; Buccolieri *et al.* 2009; Gromke 2011; Abhijitj *et al.* 2017). Kirletici dağılımı için ideal rüzgar hızı 3 m/s olarak belirtilmiştir (Jeanjean 2016). Sokak ağaçları içeren yeşil caddelerin $W/H > 2$ ile sınırlandırılması uygun görülmektedir. Dik veya eğik hakim yönlü rüzgarlardan da kaçınılmalıdır (Shaneyfelt 2017).

Özellikle cadde ağaçlarıyla dolu sokak kanyonlarında geniş taçlı ağaçlar kanyonun büyük bir kısmını işgal etmekte ve alt sokak seviyesini üst sokak seviyesinden ayırmaktadır (Gromke *et al.* 2008). Bu nedenle ağaç dikimi ortam hava değişimini engellemekte ve alt bölgede kirletici madde miktarının artmasına neden olmaktadır. Bitki örtüsünün taç yüksekliği rüzgar hızını düşürüp akış alanını bozmaktadır (Wania 2012). Ağaç taç özelliklerinin iyileştirilmesi PM_{10} dağılımını da etkilemektedir. Daha düşük rüzgar hızlarında yoğun taç morfolojisi yüksek kirletici konsantrasyonuna neden olmaktadır (Hoffman 2016). Regresyon analizlerinde yaprak yoğunluğu ile çökme arasında anlamlı bir ilişki olmadığı saptanmıştır. Bunun nedeni olarak yaprakta biriken partikül kütle esas olarak fiziksel faktörlerden etkilenmekte daha az oranda yaprak yoğunluğu dikkate alınmaktadır (Terzaghi *et al.* 2013; Hoffman 2013).

Artan ağaç taç çapları ve ağaç aralığının azaltılması kirletici konsantrasyonlarında önemli bir artışa neden olmaktadır. Ayrıca yaprak döken ağaçlara sahip bir kanyonda kirletici dağılımında artış veya azalış gözlenmemektedir. Kirletici dağılımının artması için de özellikle yol kenarında yüksek boylu ağaçlar yerine çalı formunun kullanımı önerilmektedir. Yeşil bariyerler olarak adlandırılan çalılar sokak kanyonları için kirletici yoğunlaşmasını azaltabilen yegane önlem olarak adlandırılmaktadır (Wania *et al.* 2012; Vos *et al.* 2013; Weber *et al.* 2014; Gallagher *et al.* 2015; Janhall 2015).

Kirletici dağılımı için önerilen vejetasyon tasarımında; kirlilik kaynağına yakınlık, kısa boylu bitki örtüsü kullanımı havanın içinden geçmesine izin verecek kadar yüksek ve gözenekli ancak yüzeye yakın geçmesine izin veriyor olmalıdır (Jin 2014).

Çizelge 2.1. Açık sokak koşullarında vejetasyon bariyeri araştırılan çalışmaların sınıflandırılması (Abhijith *et al.* 2017).

Kirlenici	Bitki Örtüsü Karakteristikleri			Bitki Örtüsü koşullarının kirlenici yoğunluğunu değiştirmesiyle hakkında karşılaştırma	Kaynak
	Öçümler (m)	Özellik	Yoğunluk		
UFP	Yükseklik 6,9	İbrelili ve Herdem yeşil Karma bitki örtüsü	LAD 1 - 5 m ² m ³	Lineer biçimde kalınlıkla filtrasyon verimliliğinin artması	Neft <i>et al.</i> 2016
	Genişlik 6,12,18		LAD 0.33, 1.15 m ² m ³		
	Yükseklik 4-8, Genişlik 2-6	İbrelili bitkiler	LAI 3-3.3, LAI 1-2.8	Bitki örtüsü arka planında azalma	Tong <i>et al.</i> 2016
	Yükseklik 3,4		Genişlik 2.2	%77-180 . Rüzgar, %70-0 . Rüzgar, %37- 90. rüzgar	Lin <i>et al.</i> 2016
UFP	Yükseklik 6-8	herdem yeşil	LAD 3.3 m ² m ³	Konsantrasyonda azalma LAD'de artış	Steffers <i>et al.</i> 2012 Hagler <i>et al.</i> 2012
	Yükseklik 6.1 - 7.2 Genişlik 3.6 - 4.5	herdem yeşil ve geniş yapraklı bitkiler	LAI 3-3.3 LAI 1-2.8	Bariyer arkasında, UFP konsantrasyonu açık alanlarla neredeyse aynı biçimde daha düşük bulunmuştur.	
PM 2.5	Yükseklik 0.3, 1.1, 1.2 Genişlik 1 Uzunluk 25,53	Karışık bitki örtüsü	Kanopi yoğunluğu: 0.7, 0.9	Konsantrasyonda azalmanın yanısıra artışta görünür	Chen <i>et al.</i> 2016
	Yükseklik 1.5, 2, 3, 4 Genişlik 1,2,3,7.5 Uzunluk 20		Porosity 15.7 %, 9.8 %,21.9 %	Konsantrasyonda ağaçların rüzgar hızı açık alanlarından daha yüksektir Vejetasyon bariyerinin yüksek değeri partikül toplanmasını artırabilir	
			LAD 2 m ² m ³		Morakinyo and Lam 2016

Çizelge 2.1. devam

Kirlenici	Bitki Örtüsü Karakteristikleri			Bitki Örtüsü koşullarının kirlenici yoğunluğunu değiştirmesiyle hakkında karşılaştırma	Kaynak
	Öçümler (m)	Özellik	Yoğunluk		
	Yükseklik 2.4 Genişlik 1.2 Uzunluk 25, 20	Konifer bitki bariyeri (çalı)	LAD 2 m ² m ³	Arka sınırlarda yüksek konsantrasyon gözlenmiştir Dik ve eğik rüzgarda % 25 ve % 18 oranında kuvvetli ve sakin paralel rüzgarda % 80 ve % 40 artış	Morakinyo <i>et al.</i> 2016
	Yükseklik 2.3 Klanlık 1.8 Uzunluk 20		LAD m ² m ³		
PM 10	Genişlik 2.5-3.5 Yükseklik 2.2 Genişlik 1.6	Hawthorn hedge	Kanopi Yoğunluğu 65 - 91 %	%7- %15 oranında azalma %34 kirlenici konsantrasyonunda azalma görülmüştür	Chen <i>et al.</i> 2015 Tiwary <i>et al.</i> 2008
PM	Yükseklik 1.7, 2.2, 2.4 Genişlik 1.6, 1.7, 3.2	Hawthorn, Holly, yew		Hawthorn - %66.2 ve %83.5, Holly %58.3 ve %76.1 Yew - %17.5 ve %20.5	Tiwary <i>et al.</i> 2005
TSP	Yükseklik 0.3-12 Genişlik 1.7 - 15 Uzunluk 20-53	Karma konifer ve herdem yeşil bitki örtüsü	Shelter belt porosity 4-44 %, CD 61-90 %	Vejetasyon bariyeri arka planında konsantrasyonda azalma Yaz ayında max. Kaldırma meydana gelir % 45-93 oranında azalma	Islam <i>et al.</i> 2012 Shan <i>et al.</i> 2007 Chen <i>et al.</i> 2016
Siyah Karbon	Yükseklik 10 Uzunluk 5-78	Karma bitki örtüsü	LAI 2.6 - 4.7	Azalmalar: %12.4 90 . Rüzgar, 7.8 % 0 rüzgar %22 maksimum azalma	Brantley <i>et al.</i> 2016
CO	Yükseklik 4-8 Genişlik 2-6	Karma bitki örtüsü	LAI 3-3.3 LAI 1-2.8	%23.6 - %56.1 bariyer arkasında kirlenici konsantrasyonu azalma	Lin <i>et al.</i> 2016

Çizelge 2.1. devam

Kirlenici	Bitki Örtüsü Karakteristikleri			Bitki Örtüsü koşullarının kirlenici yoğunluğunu değiştirmesiyle hakkında karşılaştırma	Kaynak
	Öçümler (m)	Özellik	Yoğunluk		
NO ₂ - O ₃	-	Herdem yeşil bitkiler		NO ₂ kaldırma oranı Ocak ayında %14-25 oranında (en yüksek konsantrasyon) Haziran ayında %35-59 (en düşük konsantrasyon yoğunluğu) oranına sahiptir	Fantozzi <i>et al.</i> 2015
	Yükseklik 8-10 m	Karışık geniş yapraklı bitkiler		O ₃ konsantrasyonu tüm koşullarda daha yüksektir Kanopi içerisinde NO ₂ konsantrasyonunda %7 azalma O ₃ konsantrasyonunda %2 azalma	Grundstrom and Plejel 2014

Çizelge 2.2. Sokak Kanyonundaki Çitlerin Hava Kirlenici Etkisi Üzerine Yapılan Çalışmaların Özeti (Abhijith *et al.* 2017).

Çalışma Konum	Sokak Kanyonu	Ölçüler (m)	Yoğunluk (LAD m ² m ⁻³ , Gözeneklilik %)	Önemli Bulgular
Yöntem	H/W			
İklim Koşulu	Rüzgar Yönü			
Kirlenici Madde	Rüzgar Hızı (m/s)			
Gromke ve diğ. (2016)	0.5	Yükseklik	Basınç Kaybı	-Çit, konsantrasyonun düşmesine neden oldu
Modelleme	90° ve 0°	1.5 ve 2.5	Katsayıları- (geçirgenlik)	-Daha yüksek ve daha az geçirgen bir çitin konsantrasyonunda daha fazla azalma oldu
Akışkanlık	4.65	Genişlik	1.67 m ⁻¹ ve 3.34 m ⁻¹	-Merkezi tek çit, kirlenicilerin azaltılmasında, yan çitlerden daha etkilidir.
SF6		1.5		-Paralel rüzgarda her iki taraftaki riskten korunma, hava kalitesinde bir merkezi korumaya göre gelişme gösterdi. -Tek merkezden korunma ile maksimum alan ortalamalı kirlenicinin azaltılması=% 61 ve her iki tarafta riskten korunma=% 39

Çizelge 2.1. devam

Çalışma Konum Yöntem İklim Koşulu Kirlenici Madde	Sokak Kanyonu H/W Rüzgar Yönü Rüzgar Hızı (m/s)	Ölçüler (m)	Yoğunluk (LAD m ² m ⁻³ , Gözeneklilik %)	Önemli Bulgular
Li ve diğ. (2016b) Ölçüm ve Modelleme Akışkanlık, Shanghai China-Hafif Muson Ortalama Sıcaklık 35 °C, ortalama RH 60% CO	0.4, 0.18, 0.78 90° 1,2,3,20	Yükseklik 0.5, 0.9, 1.1, 1.5 2.0, 2.5, 3.0 ve 4.0 Genişlik 1.5	0%	-Ölçümler, çitlerin hava kalitesi ile düzeldiğini gösterdi. -Bitki örtüsü bariyerleri için optimum yükseklikler <ul style="list-style-type: none"> • 2 m'de maksimum azalma ile H / W = 0.4 için 1.1 m ve 2 m, • 2m'de maksimum azalma ile H/W= 0.18 için 0.9-2.5m, • 1.1m'de maksimum azalma ile H/W=0.78 için 1.1m ve 2 m, -Rüzgar hızındaki değişimin optimum bitki örtüsü yüksekliği üzerinde etkisi yoktur. -Deneysel çalışma 1,4 m'de% 53 ila% 27 konsantrasyonda ve 1,6 m'de% 36 ila 24 arasında konsantrasyon artışı göstermiştir.
Vos ve diğ. (2013) Modelleme ENVI-met PM ₁₀ , elementel karbon (EC) NO- NO ₂ -O ₃	0.35 45° ve 90° 3	Yükseklik 1, 3,4 Genişlik 1	2 & 5 m ² m ⁻³	-Çit sokak kanyonunda hava kalitesini bozuyor. -LAD arttığında konsantrasyon arttı
Wania ve diğ. (2012) Modelleme ENVI-met PM ₁₀	0.5, 0.9, 1.2 0°, 45° ve 90° 1, 3	Yükseklik 1.5	2.0 m ² m ⁻³	-Sokak kanyonundaki ağaçlardan daha fazla kirlenici maddenin uzaklaştırıldığını gösterdi -Çitler derin kanyonlar için tavsiye edilir. -Kirlenicilerin kaynağa yakın çitlerle daha yüksek oranda uzaklaştırılması -Çitlerle rüzgar hızında minimum azalma oldu.

Hava kirliliği toplum, ekoloji ve kentler üzerinde önemli etkiye sahip olan başlıca problemlerden biridir. Kent formu ve hava kirliliği arasındaki ilişki kentin kompaktlık durumu ve buna bağlı olarak ulaşım ve enerji tüketimiyle ilişkilendirilmiştir. Konut dokusu ve hava kirliliği arasındaki ilişkide rüzgar kirletici dağılımını etkileyen en önemli değişken olarak gösterilmiştir. Sokak kanyonu karakteristiklerine bağlı olarak rüzgarın hızı ve yönü değişmektedir. Yeşil alan ve hava kirliliği arasındaki ilişki incelendiğinde ise üst ölçekte önerilen yeşil alanların kirletici maddenin kaldırılmasında önemli bir etkiye sahip olduğu ispatlanmıştır. Alt ölçekte kanyon içerisinde önerilen bitkilerin yüksekliği, tepe çapı, geçirgenlik durumu ve sokak içerisindeki konumunun rüzgarın dolaşımında önemli bir etkiye sahip olduğu incelenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

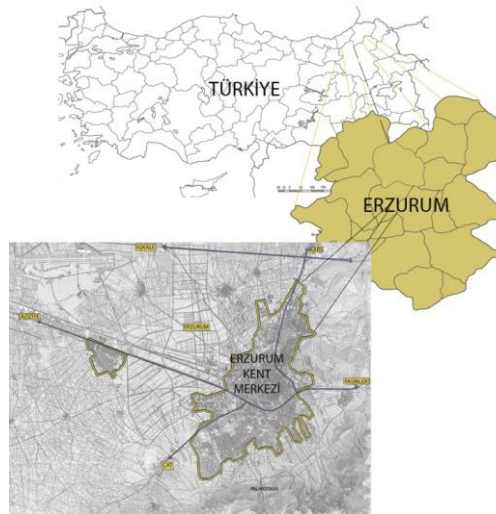
Bu bölümde çalışmada kullanılan materyallere ve yöntem akışına yer verilmiştir.

3.1. Materyal

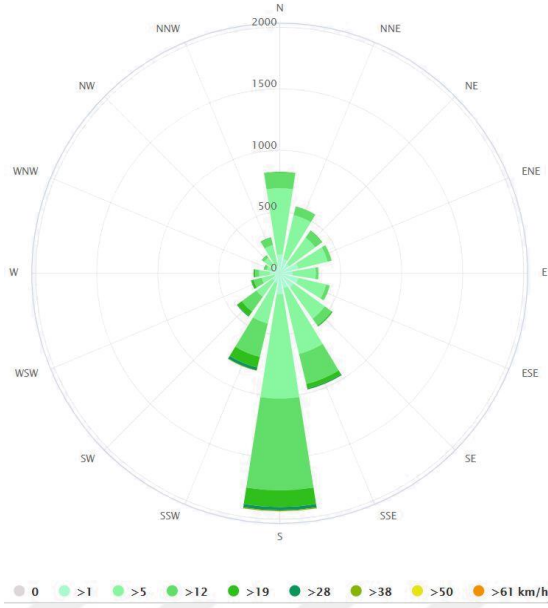
Çalışmanın materyali olan Erzurum kenti hakkında verilere çalışma alanı başlığında, çalışmanın yönteminde somut materyal niteliği taşıyan araç ve gereçlere ölçüm aletleri başlığı altında, çalışma kapsamında kullanılan bilgisayar programlarına yazılım başlığı altında ve analiz sonuçlarını mekanla ilişkilendirmek adına yararlanılan altlık haritalara çalışmada kullanılan altlık ve haritalar başlığında yer verilmiştir.

3.1.1. Çalışma Alanı

Erzurum kenti Türkiye'nin kuzey doğusunda yer almaktadır. Kent ortalama olarak 1860m yükseklikte ve Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer almaktadır (39.55E; 41.16N). 2012 yılında büyükşehir statüsüne sahip olup nüfusu 2017 sayımlarına göre 760476 kişidir (Şekil 3.1) (TÜİK).



Şekil 3.1. Erzurum kenti coğrafi konumu



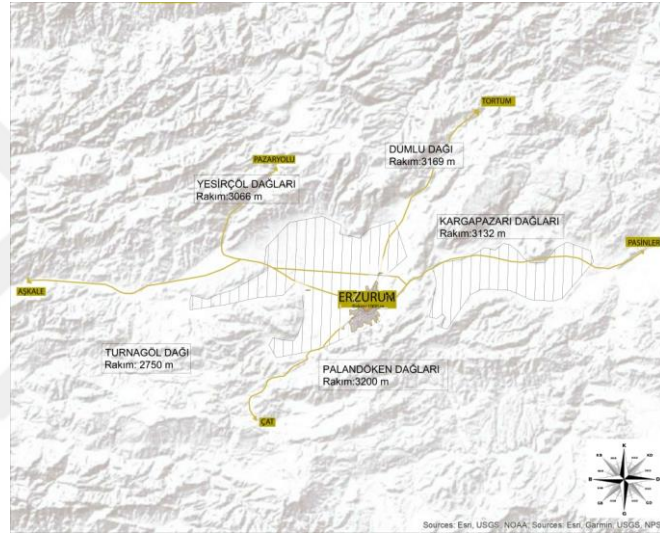
Şekil 3.3. Erzurum rüzgar gülü (URL-1)

Çizelge 3.1. Ortalama rüzgar hızı ve yönler (Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü)

Ay / (m/s)	Ort. Rüzgar Hızı	Hakim Rüzgar Y.
Ocak	1.9	SW
Şubat	2.3	SW
Mart	3.4	WSW
Nisan	3.7	W
Mayıs	3.8	WSW
Haziran	3.4	E
Temmuz	4.1	ENE
Ağustos	4.2	E
Eylül	3.3	ENE
Ekim	3.6	W/E
Kasım	3.0	WSW
Aralık	2.4	W

Erzurum şehri, 3000 metrenin üzerinde yükseltiyeye sahip dağ ve platolarla kuşatılmış tektonik kökenli çökme sonucu oluşmuş alanlar olarak tanımlanan depresyonun güneydoğusunda kurulmuştur. Depresyon, güneyde Palandöken Dağları (3200 m), kuzeyden ise Kargapazarı Dağları (3132 m) ve Dumlu Dağı (3169 m) ile kuşatılmıştır. Kuzey Batısında Yesirçöl Dağları (3066 m), Güneybatısında ise Turnagöl Dağı (2750

m) bulunmaktadır. Aynı depresyonun batısında Mescit Dağları (3239 m.), doğusunda ise depresyonun doğal uzantısı olan ve volkanik kökenli Deveboynu sırtı (2030 m) ile ayrılan Pasinler Depresyonu yer almaktadır. Güçlü hava akımlarının olmaması nedeniyle kentte inversiyon oluşmakta ve bu tabakanın kalıcılığı uzun sürmektedir. Palandöken Dağları'nın kuzey eteğinde kurulmuş olan Erzurum şehri ile dağlık kesim arasında yükselti ve bakı özelliklerinden kaynaklanan sıcaklık farklılıkları mevcuttur (Kopar ve Zengin 2009) (Şekil 3.4).



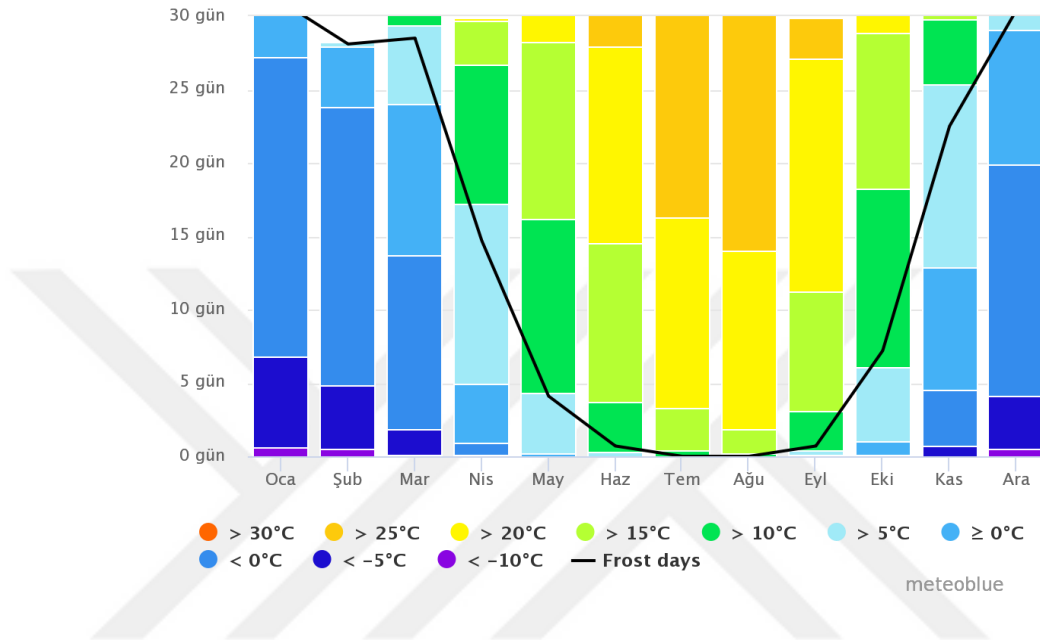
Şekil 3.4. Erzurum ovası ve dağların yükselti değerleri

Yüksek basınç şartlarından dolayı kirli havanın kentte kalma süresinin uzadığı bilinmektedir. Kentte basınç faktörü incelendiğinde; hava basıncı mevsimler, yükseklik, yerçekimi, cephe ve basınç sistemlerine bağlı olarak değişmektedir. Erzurum kenti 1989-2018 yıllarına ait aylık ortalama basınç değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Ortalama basınç değerleri(Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Tem muz	Ağust os	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Basınç (mb)	823	822	821	821	822	822	821	822	824	826	825	824

İnversiyon tabakasının dağılmasına engel olarak görülen sıcaklık değerleri Aralık ve Nisan aylarında 0°C ve altında değişmekte, Haziran ve Eylül aylarında ise 15°C üstünde değişmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Erzurum kenti sıcaklık değerleri (URL - 1).

Kentte kışların uzun ve soğuk olması yakıt kullanımını artırmaktadır. Ayrıca kış aylarında araçlarda daha fazla yakıt kullanılması da hava kirliliğini artıran faktörlerdendir. Kentin çanak şeklinde yapısı, meteorolojik olumsuzluklar (inversiyon, rüzgar hızı) ve rüzgar koridorlarının olmaması, çok uzun ve şiddetli kışların yaşanması, fazla yakıt yanması ve yakıtların aşırı yüklenmesi, ısınmada kullanılan yakıtlar, yakma tekniklerinden kaynaklanan olumsuzluklar, motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz kirliliği olarak sıralanabilir (İl Çevre Durum Raporu, 2016). Kentte hava kalitesini kontrol altına almak adına 2016 yılında 4 adet hava kalitesi izleme istasyonu kurulmuştur. İstasyonların konumları ve aldığı ölçüm değerleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Yer seçimi hakkında bilgilendirme tablosu (Kaynak:Doğu Anadolu Temiz Hava Müdürlüğü)

SIRA NO:	HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM İSTASYONU ADI	İSTASYON YERİ BİLGİLERİ	KURULUM TARİHİ	KAYNAK TİPİ VE ÖLÇÜLEN PARAMETRELER
1	Erzurum İstasyonu	2006'da Erzurum İli, Yakutiye İlçesi Halk Sağlığı (Hıfzıssıhha) Lab.'ı bahçesine kurulmuştur Koordinatları; Enlem: 39° 53' 53" Boylam: 41° 16' 21" Rakım: 1941	Nisan-2006 İstasyonun yeri www.havaizleme.gov.tr 'de belirtilen yerdedir.	Isınma–Alan Kaynak Nisan-2006'dan itibaren PM ₁₀ ve SO ₂ , Şubat – 2016'da NO, NO ₂ , NO _x ve O ₃ parametreleri eklenmiştir. İstasyon şehir merkezinde trafik, işyeri, konut ve nüfus yoğunluğu en fazla olduğu yer olması nedeniyle kentsel alanda hem trafikten hem de ısınmadan kaynaklanan hava kirliliğini örneklemektedir.
2	Erzurum-Aziziye İstasyonu	2016'da Erzurum İli, Yakutiye İlçesi Mahrukatçılar (Odun Kömür Satıcıları) sitesinin güneyinde Devlet Demiryollarına ait alana kurulmuştur. Koordinatları; Enlem :39°55'08" Boylam:41°16'18" Rakım: 1852	Ocak - 2016 İstasyonun yeri Enlem :39°55'04" Boylam:41°16'10" www.havaizleme.gov.tr 'de belirtilen yerin 225 m kuzey-batısındadır	Isınma–Alan Kaynak Ocak – 2016'dan itibaren PM ₁₀ , SO ₂ , NO, NO ₂ , NO _x , ve CO parametreleri İstasyonun yeri şehir merkezinde nüfus ve konut yoğunluğunun olduğu yerde bulunduğu kentsel alanda ısınmadan kaynaklanan hava kirliliğini örneklemektedir.
3	Erzurum – Taşhan Trafik İstasyonu	2016'da Erzurum İli, Yakutiye İlçesi, Menderes Cad. Taşhan karşısına kurulmuştur. Koordinatları; Enlem : 39° 54' 30" Boylam: 41° 16' 23" Rakım: 1908	Ocak - 2016 İstasyonun yeri Enlem :39°54'28" Boylam:41°16'23" Koor. kurulu olup www.havaizleme.gov.tr 'de belirtilen yerin 55 m kuzey-batısındadır	Trafik – Hareketli Kaynak Ocak-2016'dan itibaren PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO, NO ₂ , NO _x , CO parametreleri ölçülmektedir. İstasyon; şehir merkezinde trafik, işyeri, konut ve nüfus yoğunluğu en fazla olduğu yer olması nedeniyle kentsel alanda hem trafikten hem de ısınmadan kaynaklanan hava kirliliğini örneklemektedir.
4	Erzurum - Palandöken İstasyonu	2016'da Erzurum İli, Palandöken İlçesi, Kayak Merkezi yakınına kurulmuştur. Koordinatları; Enlem : 39° 52' 03" Boylam: 41° 16' 30" Rakım: 2123	Ocak-2016 İstasyonun yeri Enlem :39°52'08" Boylam:41°16'30" Koor. kurulu olup www.havaizleme.gov.tr 'de belirtilen yerin 155 m güneyindedir.	Arka Plan-Kentsel Alan Dışı Ocak-2016'dan itibaren PM ₁₀ , SO ₂ , NO, NO ₂ , NO _x , CO ve O ₃ hava kalitesi parametrelerine ilave olarak Sıcaklık, Rüzgar Yönü, Rüzgar Hızı, Bağıl Nem ve Hava Basıncı ölçülmektedir.

Şekil 3.6. Temiz hava izleme istasyonları (Kaynak: Doğu Anadolu Temiz Hava Müdürlüğü)

Çizelge 3.4. Kirletici güncel veriler 20.10.2018 tarihinde alınmıştır (URL-2).

Kiletici	Erzurum-Palandöken	Erzurum-Taşhan	Erzurum	Erzurum-Pasinler	Erzurum-Aziziye
CO	247.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,636.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	434.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O ₃	73.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	31.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	82.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM ₁₀	41.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	107.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	70.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	23.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	58.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM _{2.5}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	55.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.1.2. Çalışma Alanında Kullanılan Ölçüm Aletleri

Çalışmanın yönteminde kullanılan somut materyaller aşağıda verilmiştir. Rüzgar hızı ölçümleri Trotec marka bz16 rüzgar hızı ve sıcaklık ölçer cihazı (Şekil 3.7.), ile yapılırken GGO değerleri için Nikon D5200 fotoğraf makinesi ve balık gözü lens kullanılmıştır (Şekil 3.8).

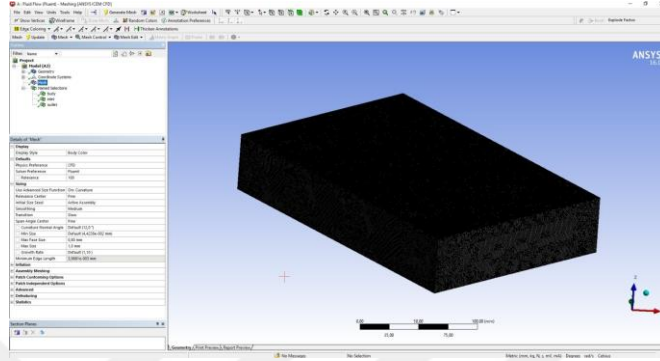


Şekil 3.7. Trotec bz16 rüzgar hızı ve sıcaklık ölçer **Şekil 3.8.** Balık gözü lens

3.1.3. Çalışmada Kullanılan Yazılım Programları

Hava kirliliğinin kentsel mekanda dağılımını tahmin etmek üzere emisyon değerleri, coğrafi değerler ve fiziki değerler olmak üzere 3 farklı başlıkta analiz ve GGO değerlerinin mekansal tahmin analizleri yapılmıştır. Söz konusu analizler ArcGIS 10.3

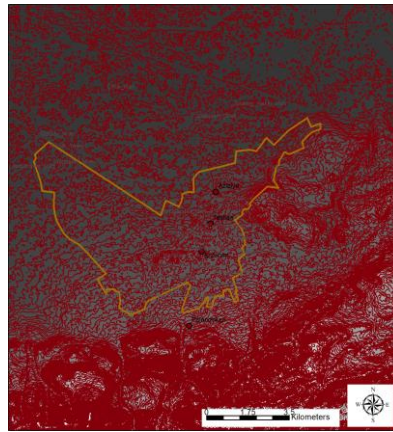
Sokak ölçeğinde ağaçların ve kanyon geometrisinin hava kirliliğine etkisi rüzgar değişkeni üzerinden incelenmiştir. Gerekli incelemeler Sayısal Akışkanlar Dinamiği ANSYS 16.0 programı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. ANSYS 16.0 Programı Arayüzü

3.1.4. Çalışmada Kullanılan Altlık Haritalar

Hava kirliliği tahmin haritası üretmek için farklı coğrafi verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışma alanı ova karakteri gösterdiği için yükselti verileri kirlilik dağılımına etki eden önemli bir girdidir. Kente air yükselti değerlerine ASTER GDEM'den tiff formatında çekilen 65*65 km ölçülerinde DEM verisi ile ulaşılmıştır. ArcGIS 10.3 programı 3 d Analyst aracı Raster Surface modülüyle 10 m aralıklar Contour eklenmiş veri Şekil 3.12. de verilmiştir.



Şekil 3.12. Dem verisi (37, 41 koordinatı 1/25000 ölçekte alınmıştır)

GGO değerleri üretmek üzere şansa bağlı olarak seçilen 325 nokta için çekim yapılan noktalar 1/25000 ölçekli Erzurum halihazır harita üzerinde işlenmiştir. Erzurum halihazır altlık haritası Erzurum Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilmiştir.



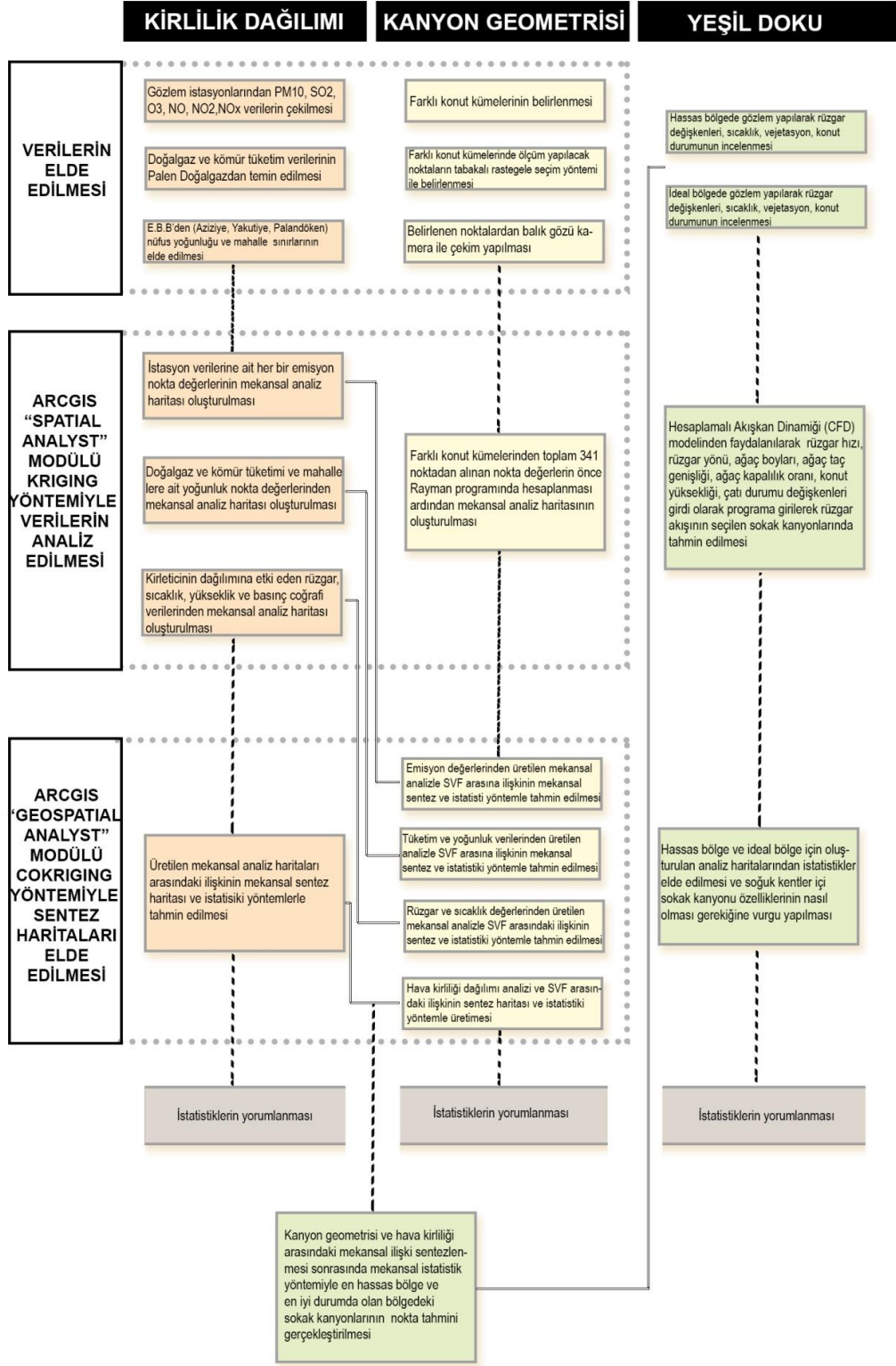
Şekil 3.13. 1/25000 ölçekli halihazır harita

Mekansal tahmin haritaları üretmek üzere ArcGIS 10.3 Programı kütüphanesinde bulunan Basemap uydu görüntüsü haritasından yararlanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. 1/50000 ölçekli uydu görüntüsü

3.2. Yöntem



Şekil 3.15. Yöntem akış şeması

Çalışma kapsamında hava kirliliğinin mekansal dağılımı üst ve alt ölçekte incelenmiştir. Öncelikli olarak literatür taraması kapsamında hava kirliliği kent formu ve kanyon geometrisi ile arasındaki ilişkiyi ve sokak kanyonunda bitki örtüsünün hava kirliliğine etkisini inceleyen çalışmalar irdelenmiştir. Hava kirliliğinin kentsel mekanla ilişkisi hiyerarşik biçimde üst ölçekten (1/25000 kent ölçeği) alt ölçeğe (sokak ölçeği) doğru bir yaklaşımla irdelenmiştir. Üst ölçekte hava kirliliği mekansal tahmin haritasının üretilmesi, kent dokusunda farklı konut tipolojilerinden GGO değerlerinin elde edilmesi, hava kirliliği mekansal dağılımı ve GGO değerlerinden sentez haritasının üretilmiştir. Sentez haritası üzerinde yaşam konforunu destekleyen ve engelleyen bölgelerin ayırımına gidilmiştir. Bu bölgelerde ağaçların rüzgar akışına etkisi tespit edilmiştir.

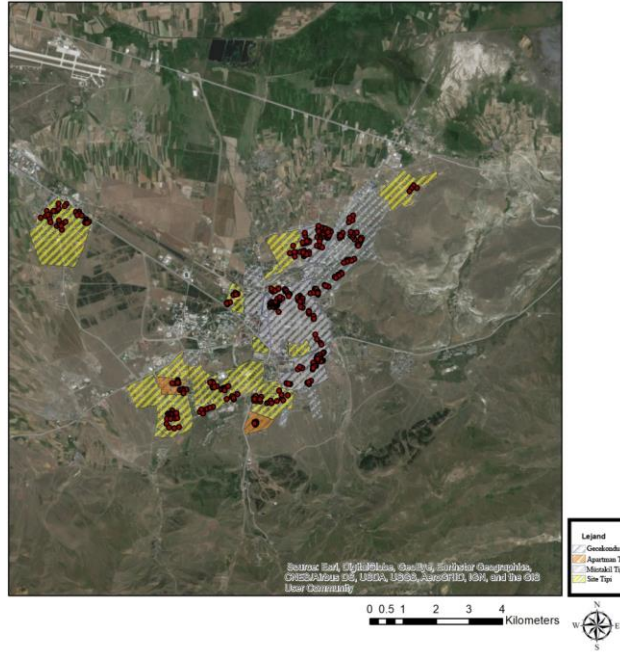
Üst ölçekte hava kirliliği mekansal tahmin haritasını üretmek üzere emisyon değerleri (PM₁₀, SO₂, CO, NO, NO_x, NO₂, O₃), fiziksel veriler (doğalgaz tüketimi, kömür tüketimi, nüfus yoğunluğu) ve coğrafi veriler (yükselti, sıcaklık, rüzgar hızı, basınç) elde edilmiştir. Emisyon değerlerine, 2016 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından kurulan hava kalitesi gözlem istasyonlarından ulaşılmıştır. Kirliliğe etki eden doğalgaz ve kömür tüketimi, nüfus yoğunluğu değişkenleri fiziksel veriler kapsamında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda kentin yıllık doğalgaz ve kömür tüketimi verileri Palen Doğalgaz'dan temin edilmiştir. Mahallelerin nüfus yoğunluğu verilerine ise Erzurum Büyükşehir Belediyesi'nden ulaşılmıştır. Kirliliğin dağılımında önemli olan sıcaklık, rüzgar hızı, yükselti ve basınç değişkenleri coğrafi veriler kapsamında değerlendirilmiştir. Sıcaklık ve rüzgar hızı değerleri, kent içerisinde şansa bağlı olarak seçilen 325 noktadan anemometre Trotec ba16 modeli ile elde edilmiştir. Yükselti verisi ASTER GDEM'den indirilen Erzurum dem verisi kullanılarak ArcGIS 10.3 programında bir dizi işlem sonucu üretilmiştir. Raster formatında olan DEM verisi içerisinde x, y, z değerlerini bulundurur. ArcGIS 10.3 programı 3D Analyst modülü Raster Surface – Hillshade yöntemiyle yükseklik verisi elde edilmiştir. Basınç değişkenine ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan yıllık ortalama basınç değerleri verisinden ulaşılmıştır.

Kirliliğin kentte dağılımıyla ilgili; kirletici faktörler (emisyon değerleri), coğrafi faktörler (basınç, rüzgar, sıcaklık ve yükseklik değerleri) ve fiziksel faktörler (doğalgaz ve kömür tüketim verileri, nüfus yoğunlukları) olarak sınıflandırma yapılmıştır. Değişkenlere ait nokta değerleri girildikten sonra her bir faktör için ArcGIS 10.3 programı Spatial Analyst modülü Kriging yöntemiyle mekansal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Üretilen tahmin haritaları Spatial Analyst Tool Modülü Reclass – Reclassify yöntemiyle sınıflandırılarak raster veriye dönüşümü yapılmıştır. Overlay modülü Weighted Overlay yöntemi kullanılarak, tahmin haritaları arasında orantı kurulmuştur. Emisyon değerlerinin miktarı arttıkça kirlilik dağılımına etkisinde arttığı için sırasıyla 1 – 9 arası değer almıştır. Coğrafi faktörlerde yüksek basınç şartlarında kirlilik ve basınç arasında doğru orantı, arazi yükseltisi ve kirlilik arasında ters orantı, sıcaklık ve kirlilik arasında ters orantı, rüzgar hızı ve kirlilik arasında ters orantı kurularak 1-9 aralığında değer verilmiştir. Fiziksel faktörlerde ise nüfus yoğunluğu ve kirlilik arasında doğru orantı, kömür tüketimi ve kirlilik arasında doğru orantı, doğalgaz tüketimi ve kirlilik arasında doğru orantı kurularak 1-9 arası puanlama yapılmıştır. Daha sonra tüm faktörleri birbirleriyle ilişkilendirerek mekansal sentez haritası oluşturmak üzere Geostatistical Analyst Wizard modülü CoKriging yöntemi kullanılmış ve yöntem sonucu, tahmin haritasının yanı sıra istatistiki sonuçlar da elde edilmiştir. Diğer kriging yöntemlerinden farklı olarak Cokriging yönteminde altta yatan semivariogramı tahmin etmekte ve ortaya çıkan hatayı hesaplamaktadır. Bu süreçte tahmin edilen semivariogramın enterpolasyon bölgesi için doğru semivariogram olduğunu kısmen tahmin eder. Semivariogram parametreleri kısıtlı maksimum olasılık kullanılarak tahmin edilir. Kısıtlamalar nedeniyle giriş verileri ilk olarak belirli boyutta üst üste binen alt kümelerle bölünür. Her alt kümede, semivariogramlar şu şekilde tahmin edilir; a) Semivariogram alt kümedeki verilerden hesaplanır b) Bu semivariogramı model olarak alt kümedeki giriş konumlarının her birinde koşulsuz olarak yeni veriler simüle edilir. c) Simüle edilmiş verilerden yeni bir semivariogram tahmin edilmektedir.

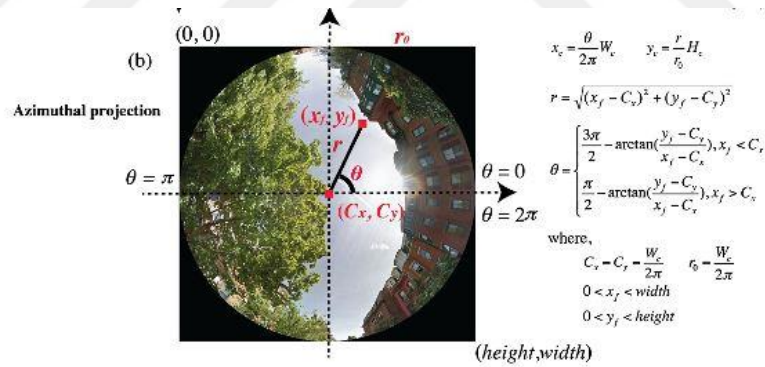
Kent dokusunda heterojen yapıya neden olan site tipi, apartman tipi, müstakil tipi, gecekondü tipi konut kümelerinde Şubat ayında 7 gün boyunca 325 noktadan şansa

bağlı olarak ölçümler alınmıştır (Şekil 3.16). GGO parametresini hesaplamak manuel olarak mümkün olduğu gibi işlemi hızlandırmak adına kullanılacak birçok yazılım da mevcuttur. Çalışma kapsamında ise GGO parametresini hesaplamak için Rayman 1.2 programı kullanılmıştır (Şekil 3.17). Programa girdi olarak balık gözü kamera merceğinin gökyüzüne tutulmasıyla elde edilen fotoğraflar, sıcaklık, rüzgar hızı değerleri eklenmiştir. Bu bağlamda Nikon D5200 kamerasına takılan balık gözü merceği, seçilen sokakların başından, ortasından ve sonundan olmak üzere her bir noktanın ortasından, sağından ve solundan çekimler yapılmıştır. Çekimler yapılırken kuzeye yönelmiş olarak, fotoğraf makinasının göğüs hizasında gökyüzüne doğru tutulmasına dikkat edilmiştir. Ölçüm sonuçları tablo olarak ekte sunulmuştur (**EK1**). Ayrıca konut tipolojilerini anlaşılır kılmak üzere Sketch-Up Pro. 17 programında 3 boyutlu modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.18). Kent dokusunda farklı konut tipolojilerine ait ortalama GGO, bina yüksekliği, rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık ve rakım verileri Photoshop CS 7 programında grafik haline getirilmiştir.

GGO değerlerinin kent makroformu içinde yayılımını mekansal olarak tahmin etmek üzere nokta değerlerden oluşan veri seti ArcGIS 10.3 programına girilmiştir. Daha sonra programın Spatial Analyst modülünde Kriging modülü kullanılarak GGO dağılımı haritası elde edilmiştir. GGO analiz haritası ile kirlilik dağılımı sentez haritası ArcGIS 10.3 Geostatistical Analyst Wizard modülü CoKriging yöntemi aracılığıyla iki veri seti arasındaki istatistiksel ilişkiyi tahmin etmek üzere sentez haritası ve istatistiksel grafikler üretilmiştir. Üretilen yeni sentez haritasında kirlilik dağılımı açısından yaşam konforunu engelleyen ve ideal bölgeler ArcGIS 10.3 programı Spatial Statistic modülünde Hotspots point yöntemiyle tespit edilmiştir.



Şekil 3.16. Konut tipolojileri ve ölçüm alınan noktalar



Şekil 3.17. Gökyüzü görünürlük oranı hesaplanması (Li 2018).



Apartman tipi k. kümesi Gecekondu tipi k. kümesi Site tipi k. kümesi Müstakil tip k. kümesi

Şekil 3.18. Konut tipolojileri ve ölçüm alınan noktalar

Sokak ölçeğinde kirlilik dağılımıyla ilgili karşılaştırma yapmak üzere belirlenen yaşam konforunu engelleyen ve yaşam konforunu destekleyen bölgelerde nokta seçimi yapılmıştır. ArcGIS 10.3 programı Data Management modülünü Feature Class Create Random Points yöntemiyle her bölgeden ağaçlı ve ağaçsız olmak üzere iki adet rastgele nokta seçilmiştir.

Seçimi yapılan 4 noktada kanyon geometrisi, bina yüksekliği ve yol genişliği, rüzgar hızı, rüzgar yönü, vejetasyon değişkenleri (bitkilerin boyu, taç genişliği, kapalılık durumu, yerden yüksekliği) incelenmiştir. Daha sonra kanyonlar içerisindeki rüzgar akışını test etmek için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) modeli kullanılmıştır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ANSYS 16.0 programı Fluent Çözücüsüne SolidWorks programında katı cisimde boşluk olarak 10*20*50 cm dikdörtgen prizma alanı içerisinde modellenip yüklenmiştir. Çizim geometry modülü ile ANSYS programına tanıtılmıştır. Daha sonra mesh modülü ile tüm alan üçgenlerle tanıtılmıştır. General modülünde havanın taşınım modellerinden doğal taşınım ve rüzgar tipi seçilmiştir. Benzer hızlarda yapılan simülasyonlar referans alınarak reynolds katsayısına göre türbülans rüzgar modeli kullanılmıştır. Boundary condition modülünde ise havanın giriş çıkış yönü hakim rüzgar yönü olan güneybatı olarak tanımlanmıştır. Solution matematiksel boyutta Simple modülüyle çözüm işlemi başlatılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Hava Kirliliği Mekansal Tahmini

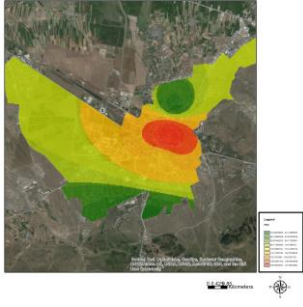
Hava kirliliğine etki eden emisyon değerleri (PM₁₀, SO₂, NO, NOX, NO₂, O₃ ve CO), fiziksel faktörler (nüfus yoğunluğu, kömür tüketimi, doğalgaz tüketimi) ve coğrafi faktörlerin (yüksekti, basınç, sıcaklık, rüzgar hızı) mekansal kirlilik tahmin haritaları üretilmiş, haritaların istatistiksel tahminleri verilmiştir.

4.1.1. Emisyon Değerleri Mekansal Kirlilik Tahmini

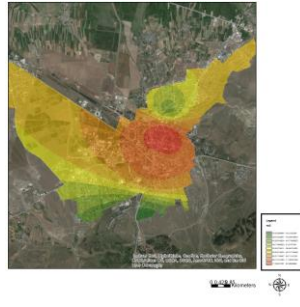
4 istasyona ait hava kalitesi gözlem istasyon verilerinin toplandığı internet adresinden PM₁₀, SO₂, NO, NOX, NO₂, O₃ ve CO emisyon değerleri alınmıştır (Çizelge 4.1). Değerler ArcGIS 10.3 programına öz nitelik verisi olarak işlenmiştir. Emisyon değerlerinin mekansal dağılımını tahmin eden harita çıktısına göre kent merkezi tarihi çekirdek ve çevresi kirlletici yayılımının fazla olduğu bölge çıkarken, Palandöken Dağ eteklerindeki yerleşim alanının merkeze oranla daha temiz hava kalitesine sahip olduğu incelenmiştir (Şekil 4.7).

Çizelge 4.1. Kirlletici emisyon miktarları (URL-1).

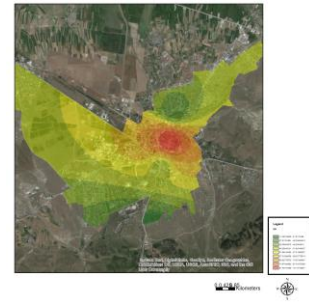
İstasyon İsimleri	PM ₁₀ µg/m ³	SO ₂ , µg/m ³	NO µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	NO _x µg/m ³	O ₃ µg/m ³	CO µg/m ³
ErzurumAziziye	91	28	29	48	77	Değer yok	1085
Erzurum Taşhan	106		102	81	182	Değer yok	2543
Erzurum	63	25	48	68	116	17	Değer yok
Erzurum Palandöken	34	10	7	20	27	89	496



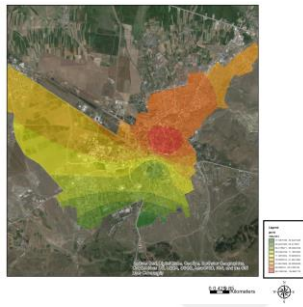
Şekil 4.1. NO_x analizi



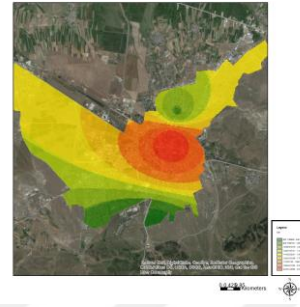
Şekil 4.2. NO₂ analizi



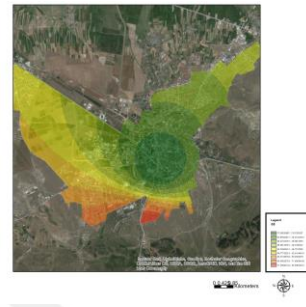
Şekil 4.3. NO analizi



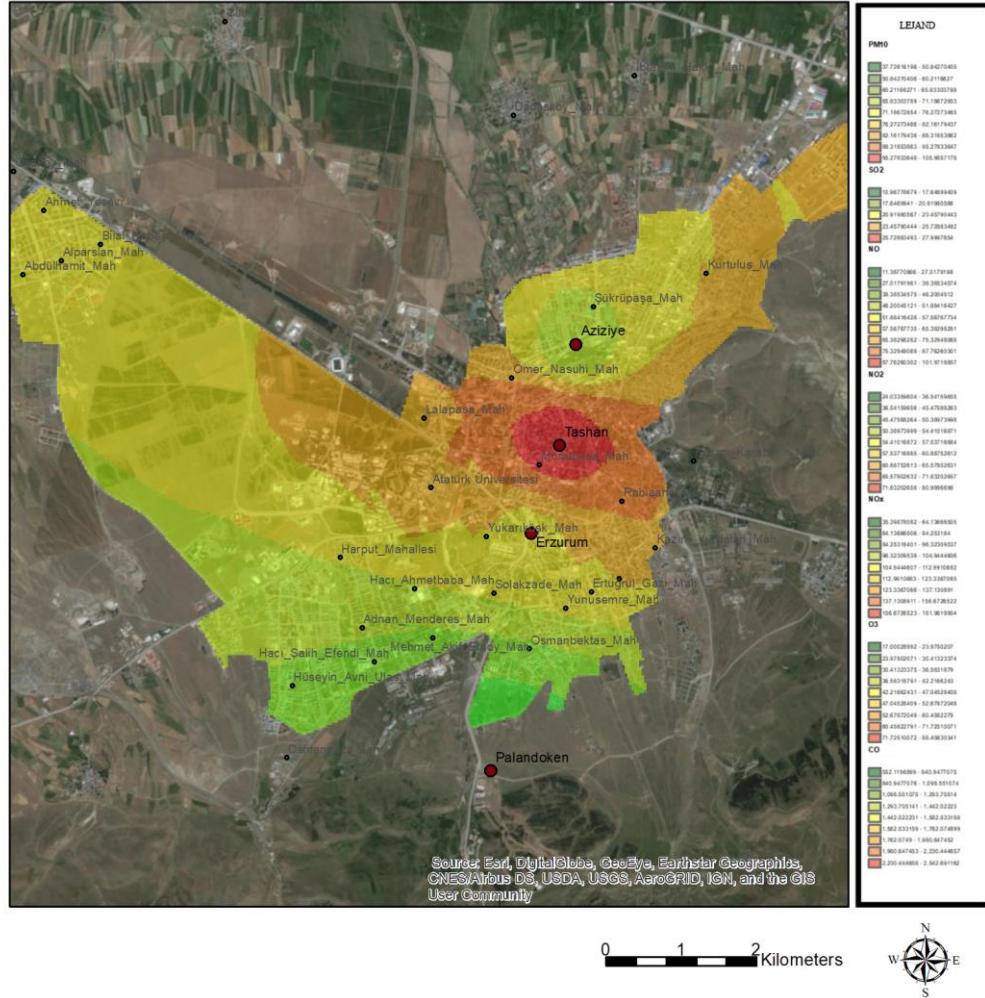
Şekil 4.4. PM₁₀ analizi



Şekil 4.5. CO analizi



Şekil 4.6. O₃ analizi



Şekil 4.7. Emisyon değerlerinin mekansal kirlilik tahmini

4.1.2. Fiziksel Değişkenlerin Mekansal Kirlilik Tahmini

Doğalgaz ve kömür tüketim verileri ArcGIS 10.3 programında mahalle noktalarına öz nitelik verisi olarak işlenmiştir. Nüfus yoğunluğu, doğalgaz ve kömür tüketimi açısından kirlilik potansiyelinin mekansal tahmin haritası üretilmiştir. Kömür tüketimi Şükrüpaşa Mahallesi ve Kurtuluş Mahallesiinde yoğunlaşmakta, doğalgaz tüketimi Mehmet Akif Ersoy Mahallesi, Alparslan Mahallesi, Ahmet Yesevi Mahallesi, Solakzade Mahallesi ve Yunusemre Mahallesi çevresinde yoğunluk göstermekte ve nüfus yoğunluğu ise Hacı Salih Efendi Mahallesi, Muratpaşa Mahallesi ve Yunusemre Mahallesi çevresinde artış göstermektedir. Fiziksel faktörlerin analiz haritasına

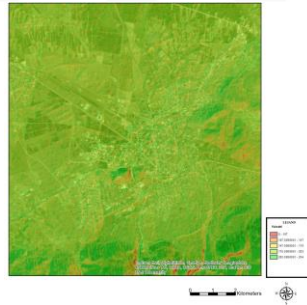
bakıldığında kirlilik potansiyelinin kömür tüketimi ve nüfus yoğunluğunun fazla, doğalgaz tüketiminin az olduğu Muratpaşa Mahallesi, Ertuğrulgazi Mahallesi ve Yunusemre Mahallesinde olası olduğu incelenmiştir (Şekil 4.11).

Çizelge 4.2. Tüketim ve yoğunluk verileri (EBB; Palen Doğalgaz)

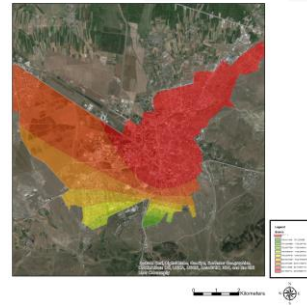
Mahalle İsmi	Nüfus Yoğunluğu (kişi/ha)	Doğalgaz Tüketimi (m ³)	Kömür Tüketimi (ton)
Ahmet Yesevi Mahallesi	99	127703	48509.28
Abdurrahmangazi Mahallesi	199	163261	2168544.48
Adnan Menderes Mahallesi	299	3270792	2790181.92
Abdülhamit Mahallesi	49	1076173	636010.52
Alparslan Mahallesi	49	390879	883946.48
Bilal Habeşi Mahallesi	49	106025	73662.24
Ertuğrulgazi Mahallesi	150	184780	420413
Harput Mahallesi	99	543745	515635.68
H. Avni Ulaş Mahallesi	Değer yok	1226323	4250850.24
H. Salih Efendi Mahallesi	199	1124560	2001456.96
H. Ahmet Baba Mahallesi	199	499415	1861319.03
İbrahim Hakkı Mahallesi	30	45591	Değer yok
Kurtuluş Mahallesi	120	1961586	7772264.64
Kazım Yurdalan Mahallesi	199	517418	1097747.04
Kazım Karabekir Mahallesi	199	752955	1363649.76
Lalapaşa Mahallesi	99	2731073	7240459.2
Mehmet Akif Ersoy Mahallesi	99	147179	2017626.62
Muratpaşa Mahallesi	320	1181737	3332767.2
Osman Bektaş Mahallesi	99	1034121	4820385.12
Osmangazi Mahallesi	99	3249366	10082743.68
Ömer Nasuhi Mahallesi	49	2359438	6157085.28
Rabia Ana Mahallesi	149	1426030	3435175.68
Şükrüpaşa Mahallesi	99	2484143	8578956
Ş. İsmail Aksu Mahallesi	49	179751	1144459.68
Yukarıköşk Mahallesi	99	122984	849810.72
Yunusemre Mahallesi	299	962303	4493396.64
Yavuz selim Mahallesi	Değer yok	414378	129358
Atatürk Üniversitesi	149	383730	456346
Organize Sanayi	Değer yok	1233415	79,052.00

4.1.3. Coğrafi Değişkenlerin Mekansal Kirlilik Tahmini

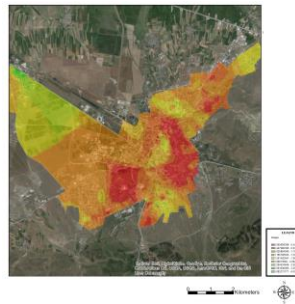
Kent içerisinde şansa bağlı olarak seçilen 325 noktadan alınan rüzgar ve sıcaklık ölçümlerine, basınç ve yükselti değişkeni de eklenmesiyle coğrafi faktörler açısından kirlilik potansiyeli yüksek bölgelerin tahmini mekansal haritası üretilmiştir. Mekansal haritaya göre kent merkezinde yükselti düşmekte, kentin tamamında yüksek basınç şartları hakim, rüzgar hızı değişkeni Muratpaşa Mahallesi, Rabiaana Mahallesi, Yunusemre Mahallesi ve Mehmet Akif Ersoy Mahallesi kent diğer bölgelerine oranla daha fazla ve sıcaklık kent makroformunun batısında artış incenmiştir. Coğrafi değişkenler açısından kirlilik potansiyelinin kent makroformunun merkezinde fazla olabileceği incelenmiştir. Kurtuluş Mahallesi, Ahmet Yesevi Mahallesi, Abdülhamit Mahallesi, Alparslan Mahallesi, Bilal Habeşi Mahallesi ve Atatürk Üniversitesi yerleşkesi coğrafi faktörlerin bakımından daha az kirlilik potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.16).



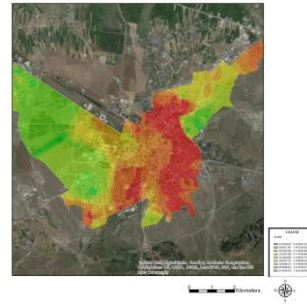
Şekil 4.12. Yükselti analizi



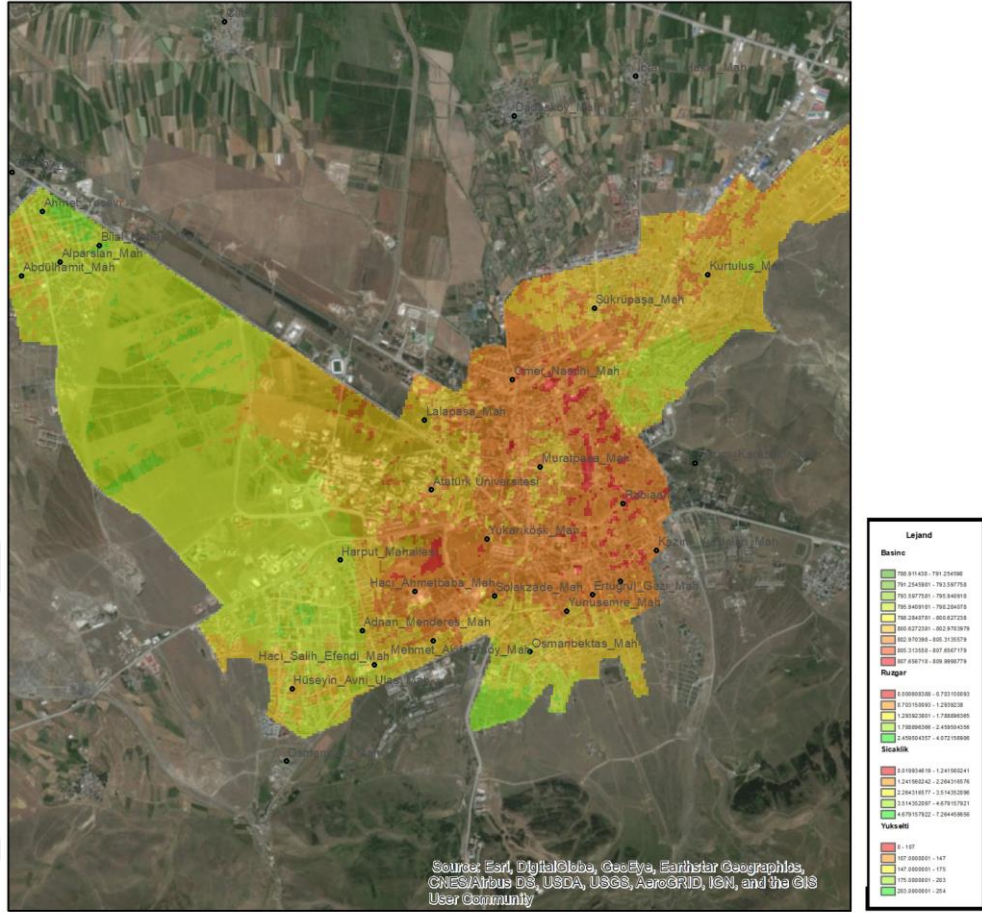
Şekil 4.13. Basınç analizi



Şekil 4.14. Rüzgar analizi



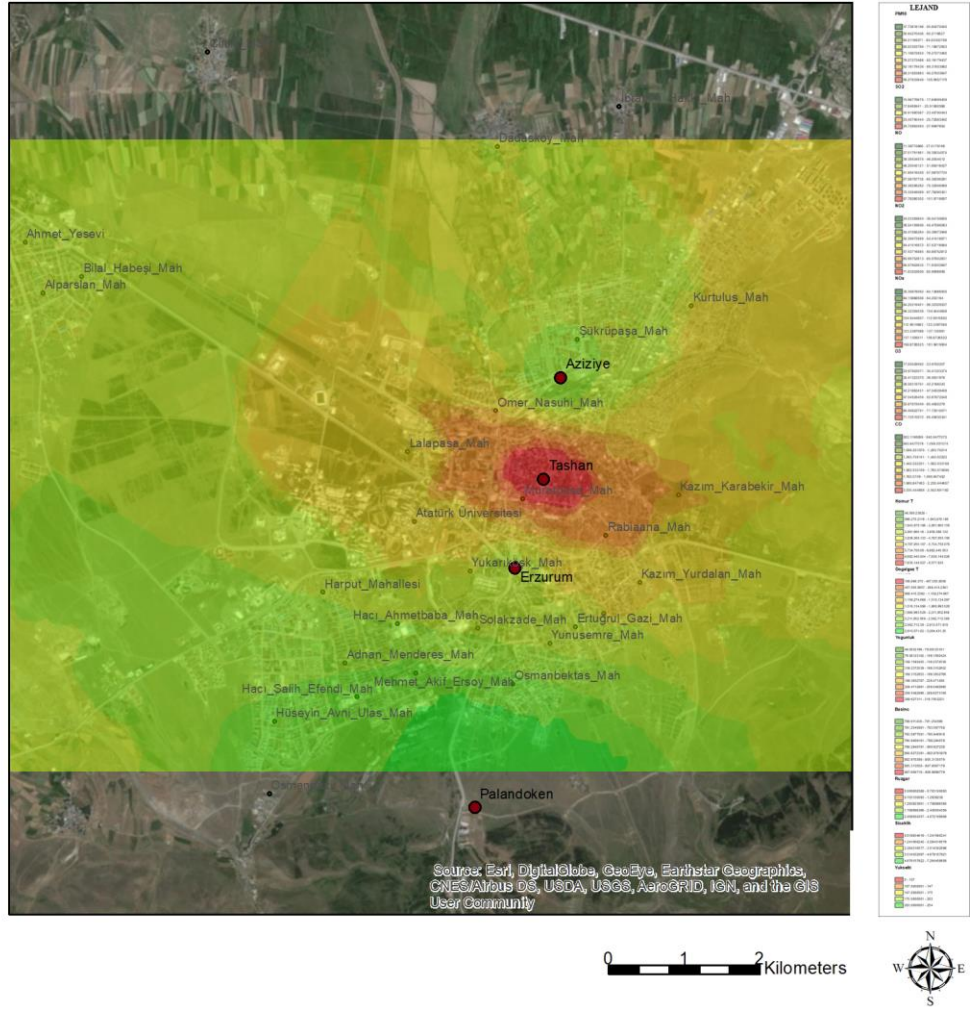
Şekil 4.15. Sıcaklık analizi



Şekil 4.16. Coğrafi faktörlerin mekansal dağılımı

4.1.4. Hava Kirliliği Mekansal Sentezi

Elde edilen emisyon değerleri, coğrafi faktörler ve fiziksel faktörlerin mekansal dağılımına ait tahmin haritaları birleştirilerek kirlilik dağılımının genel mekansal tahmini yapılmıştır. 3 faktörün sentezi sonucu kent merkezinde tarihi çekirdek ve çevresi kirlilik seviyesinin yüksek olduğu bölge olarak tahmin edilirken, kent çeperlerinde kirlilik yoğunluğunun daha az olduğu incelenmiştir (Şekil 4.17).

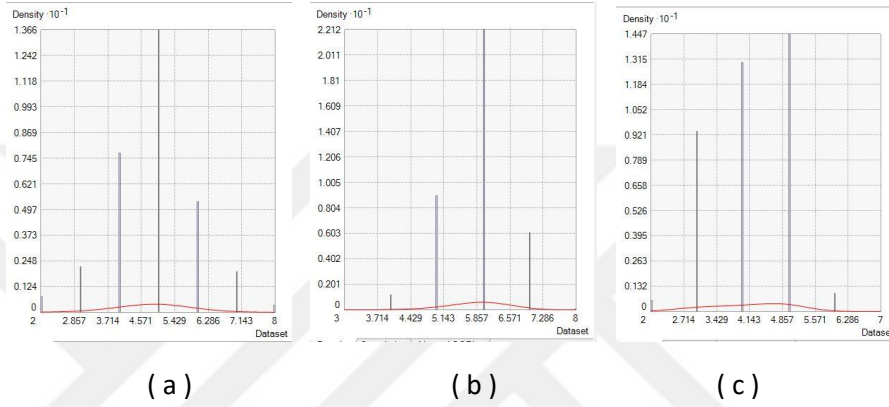


Şekil 4.17. Hava kirliliği mekansal dağılımı

Çalışma alanından ölçülen örnek noktalar kullanılarak aynı alandaki diğer ölçülmeyen yerler için doğru tahminler oluşturmak üzere kullanılan ArcGIS programı Geostatistical Analyst yöntemi sonuçlarına göre verilerin istatistiksel özelliklerini değerlendirmek üzere analiz araçları kullanılmıştır. Bunlara göre; yoğunluk grafiğinde verilen emisyon faktörleri (a), fiziksel faktörler (b) ve coğrafi faktörlerinin (c) yoğunluk dağılımları verilmiştir. Emisyon faktörlerindeki artış mekanla ilişkilendirildiğinde tarihi çekirdek ve çevresi yüksek kirlilik yoğunluğuna sahipken kent çeperlerinin daha az kirlilik yoğunluğuna sahip olduğu incelenmiştir. Fiziksel faktörlerde de emisyon değerlerine benzer şekilde kirlilik yoğunluğunun kent merkezine yaklaştıkça arttığı incelenmiştir.

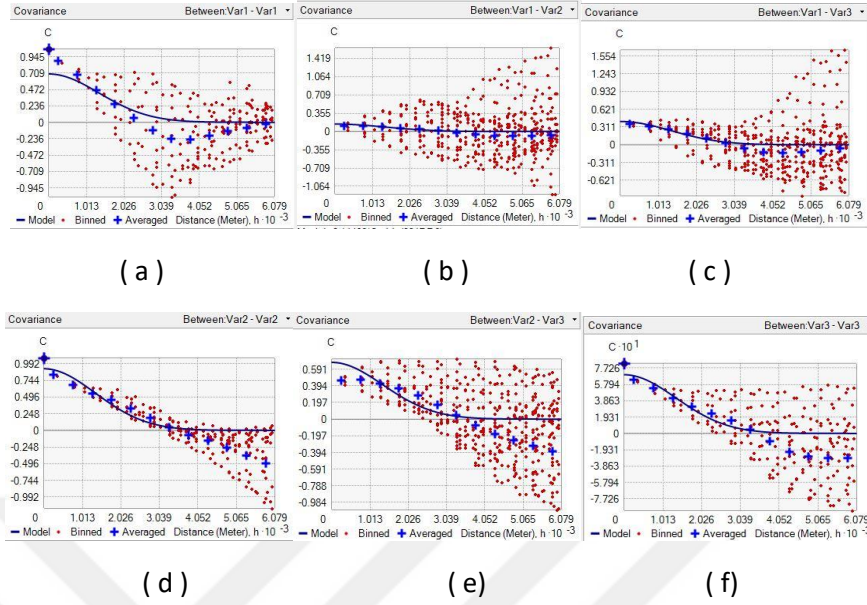
Coğrafi faktörlerinin dağılım grafiği incelendiğinde ise kent makroformunun 3'te 2'lik kısmının kirlilik potansiyeline sahip olduğu incelenmiştir (Şekil 4.18).

	Kirlilik sentezi
Ortalama	4.146
Standart Sapma	0.930



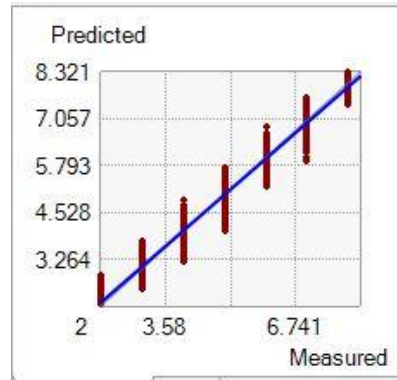
Şekil 4.18. Hava kirliliği mekansal sentezi yoğunluk dağılımı

Yüzey özelliklerini analiz etmek için semivariogram (kovaryans) modellenmiştir. İki değişken arasındaki farklı semivariogramlar şekil 4.6'da verilmiştir. 3 farklı veri seti, arasında 6 farklı varyans hesaplanmıştır. Kovaryans hesaplamalarında + ile temsil edilen değerler etrafında noktaların yoğunlaşması görüldüğü için veri setleri arasında güçlü bir ilişki olduğu incelenmiştir. Kırmızı nokta değerlerin eğriye yaklaşması kent merkezi tarihi çekirdek ve çevresi emisyon faktörleri, fiziksel faktörler ve coğrafi faktörler arasında güçlü ilişki bulunduğunun ispatı niteliğindedir. Noktaların uzaklaşma durumu ise kent merkezinde çepere doğru farklı bölgelerinde değişen yoğunluk değerleriyle açıklanmaktadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Hava kirliliği mekansal sentez varyasyonları

Mekana yansıtılan tahmini hataya göre emisyon değerleri, coğrafi faktörler ve fiziksel faktörler arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.20. Tahmini hata

4.2. Konut Dokusu Analizleri

Hava kirliliği ve konut dokusu arasındaki ilişkiyi analiz etmek üzere kentin farklı bölgelerinde 4 farklı konut tipinde (site tipi, müstakil tip, apartman tipi ve gecekondur tipi) 325 noktadan alınan GGO ölçümleri, bina yüksekliği, saha

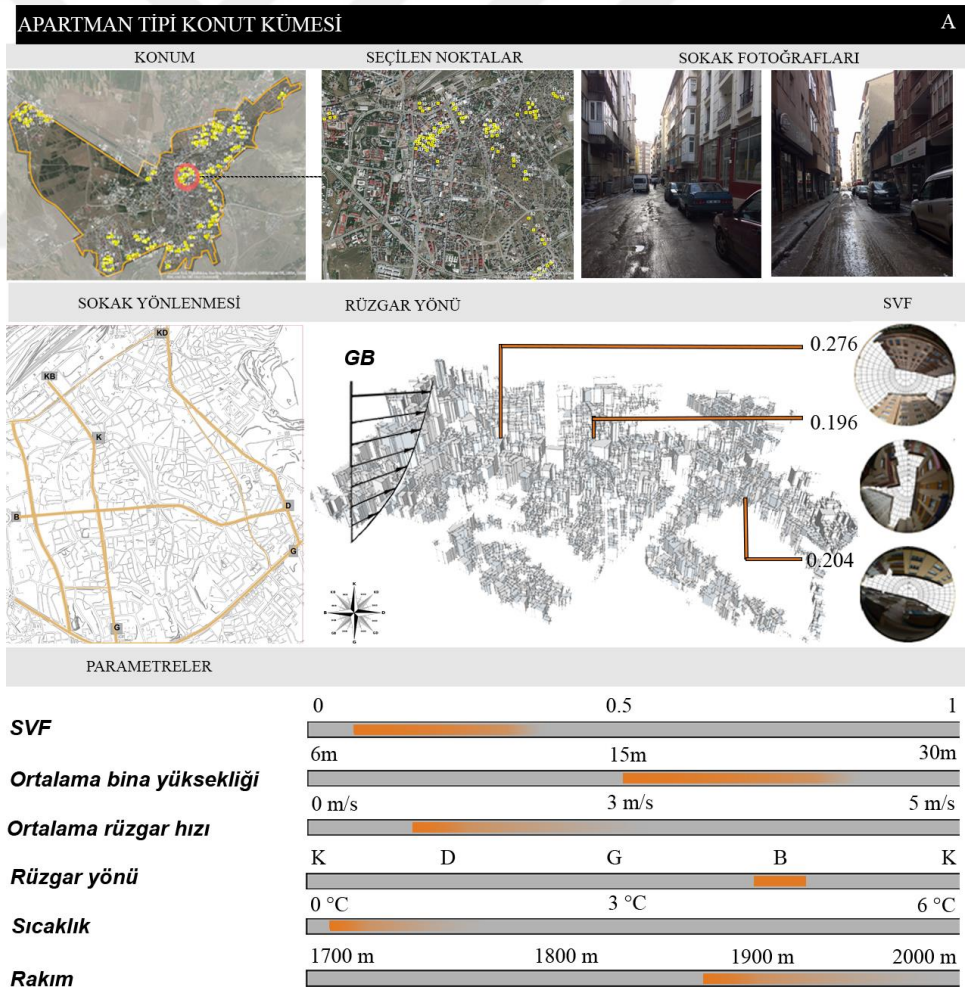
ölçümlerinden elde edilen rüzgar hızı ve sıcaklık değerleri, rüzgar yönü ve rakım değişkenleri incelenmiştir. Bölgelere ait mekansal verilere ait ortalama değerler grafik ve tablo halinde aşağıda yer verilmiştir (Çizelge 4.3.) .

Çizelge 4.3. Mahallere ait GGO, rüzgar hızı ve sıcaklık verileri

Tipoloji	Mahalle İsmi	GGO (Y/G)	Rüzgar hızı (m/s)	Sıcaklık
Apartman	Abdurrahmangazi Mahallesi	0.95	1.34	0.82
Apartman	Ertuğrulgazi Mahallesi	0.95	1.34	0.82
Apartman	Kazım Yurdalan Mahallesi	0.95	1.34	0.82
Apartman	Kazım Karabekir Mahallesi	0.38	0.58	0.80
Apartman	Lalapaşa Mahallesi	0.38	0.58	0.80
Apartman	Muratpaşa Mahallesi	0.38	0.58	0.80
Apartman	Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesi	0.38	0.58	0.80
Apartman/Gece	Rabia Ana Mahallesi	0.38	0.58	0.80
Apt./Müs./Site	Şükrüpaşa Mahallesi	x/1.71/1.47	x/1.96/1.70	x/2.1/0.85
Apartman	Yunusemre Mahallesi	0.95	1.34	0.82
Gecekondu	Kurtuluş Mahallesi	0.48	0.97	1.17
Müstakil	Ahmet Yesevi Mahallesi	0.76	2.48	2.86
Müstakil	Bilal Habeşi Mahallesi	0.76	2.48	2.86
Site/Müstakil	Adnan Menderes Mahallesi	0.50/0.66	0.47/2.02	1.14/4.81
Site	Abdülhamit Mahallesi	0.70	1.31	4.51
Site	Alparslan Mahallesi	0.70	1.31	4.51
Site	H. Salih Efendi Mahallesi	0.50	0.47	1.14
Site	H. Ahmet Baba Mahallesi	0.50	0.47	1.14
Site	Mehmet Akif Ersoy Mahallesi	0.50	0.47	1.14
Site/Müstakil	Osman Bektaş Mahallesi	1.33/0.91	1.22/0.52	1.93/4.75
Site	Osmangazi Mahallesi	0.58	1.11	1.95
Site	Solakzade Mahallesi	0.50	0.47	1.14
Site	Ş. İsmail Aksu Mahallesi	0.50	0.47	1.14

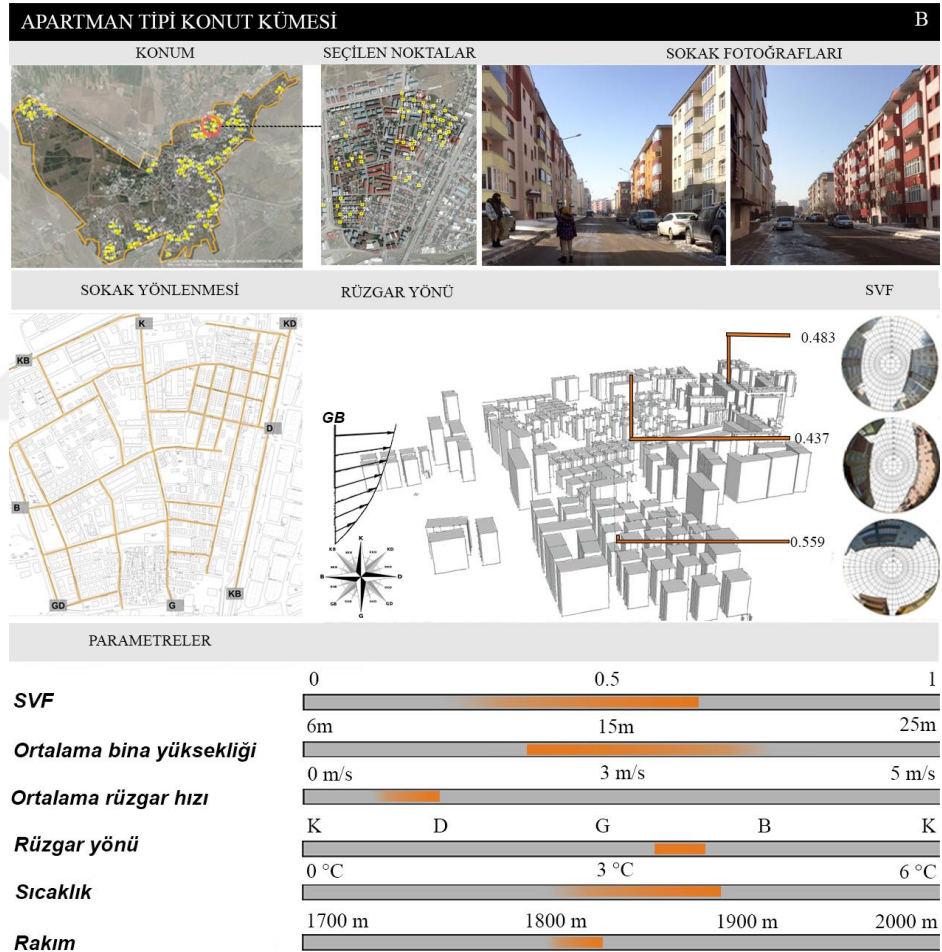
4.2.1. Apartman Tipi Yapılaşma

Kent merkezinde bulunan apartman tipi yapılaşmanın olduğu bölgede, bina yükseklikleri, sokak yönelmeleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda homojen olmayan dağılım incelenmiştir. Sokak yönelmeleri tekil veya ikili benzer özellikler taşımamakta, farklı açılarda bulunmaktadır. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 76 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.1 ile 0.4 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri 15-24 m arasında değişmektedir. Rüzgar hızı ise 1.2 m/s ile 2.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Apartman tipi yapılaşma (Lalapaşa Mah., Muratpaşa Mah., Ömer Nasuhi Bilmen Mah., Rabiaana Mah., Kazım Karabekir Mah.)

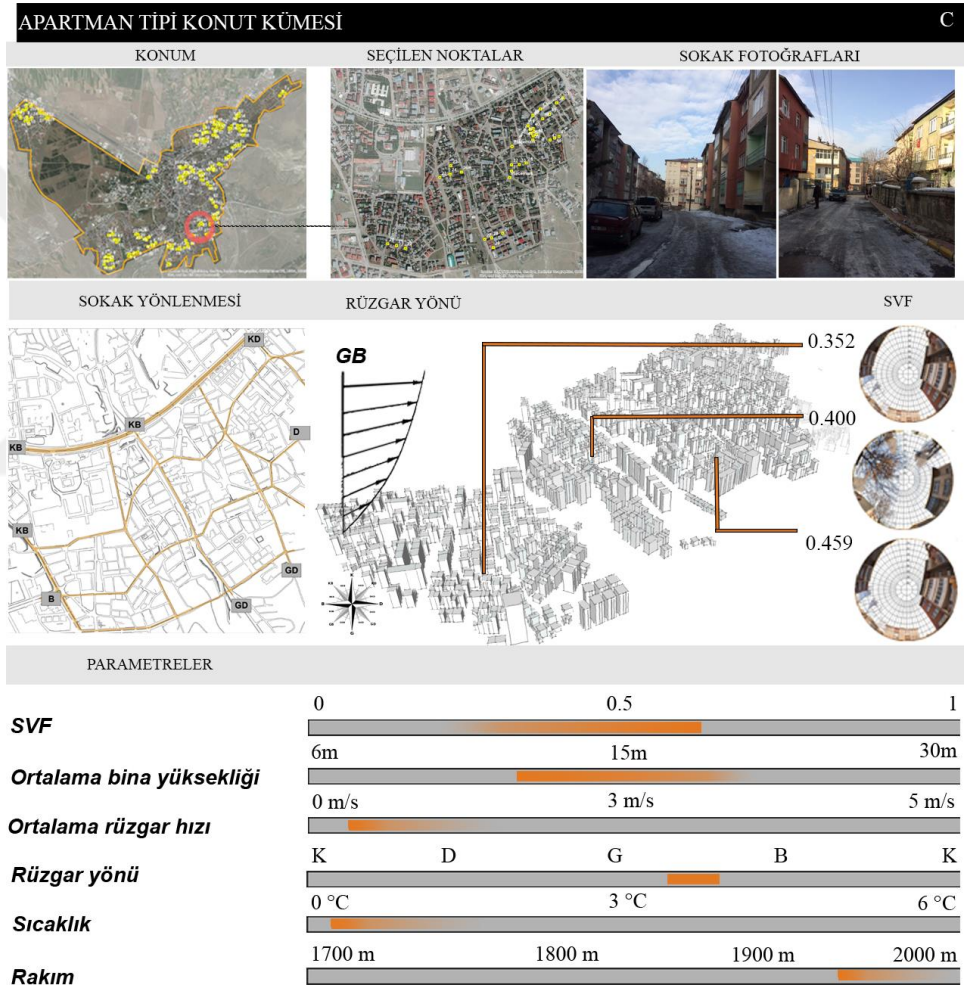
Kentin kuzeyinde yer alan apartman tipi yapılaşmanın olduğu bölgede, bina yükseklikleri değişkenleri arasında homojen olmayan dağılım incelenmiştir. Sokak yönelmelerinde K-G ve D-B hakimdir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 35 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.4 ile 0.7 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 9-18 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 0.5 m/s ile 1.2 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Apartman tipi yapılaşma (Şükrüpaşa Mah.)

Apartman tipi yapılaşmanın olduğu bölgede, bina yükseklikleri, sokak yönelmeleri, sokak genişliği değişkenleri homojen olmayan dağılım incelenmiştir. Yol derecesi fazla

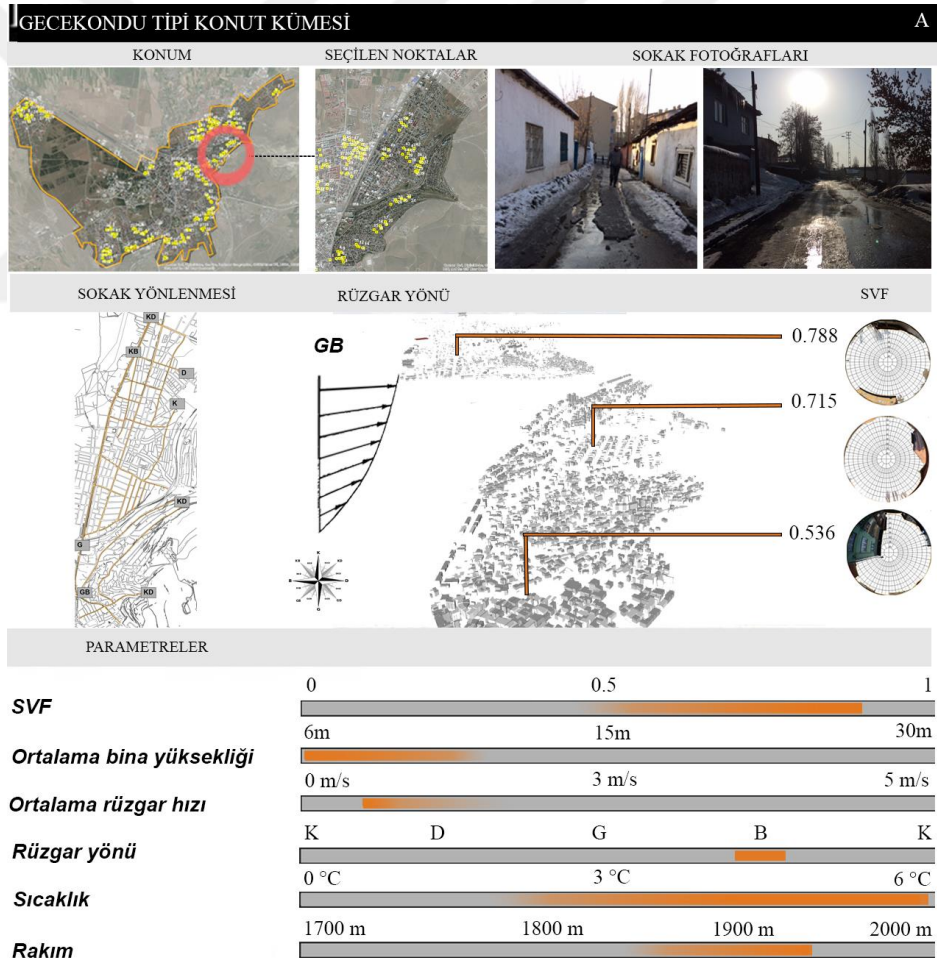
olan sokaklarda GB-KD ve KB-GD yönlenmeleri hakim olsa da daha düşük dereceli sokaklarda farklı açılarda yönelim incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 29 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.3 ile 0.6 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 12-18 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 0.5 m/s ile 1.2 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Apartman tipi yapılaşma (Abdurrahmangazi Mah., Ertuğrul Gazi Mah., Kazım Yurdalan Mah., Yunusemre Mah.)

4.2.2. Gecekondu Tipi Yapılaşma

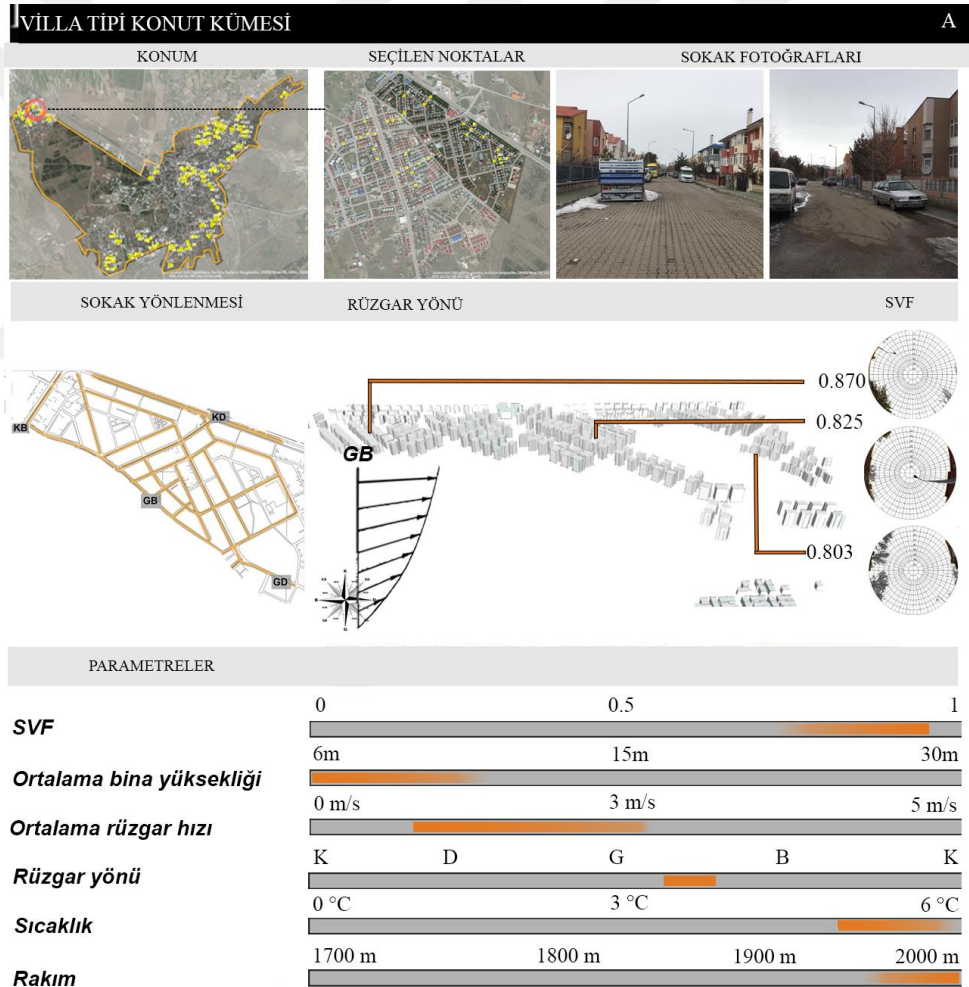
Gecekondu tipi yapılaşmanın olduğu bölgede kömür tüketimi diğer bölgelere oranla daha fazladır. Bina yükseklikleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda ise normal dağılım incelenmiştir. Sokak yönlenmeleri farklı açılarda bulunmaktadır. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 54 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.4 ile 0.75 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de 6-9 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 0.6 m/s ile 1.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Gecekondu tipi yapılaşma (Kurtuluş Mahallesi)

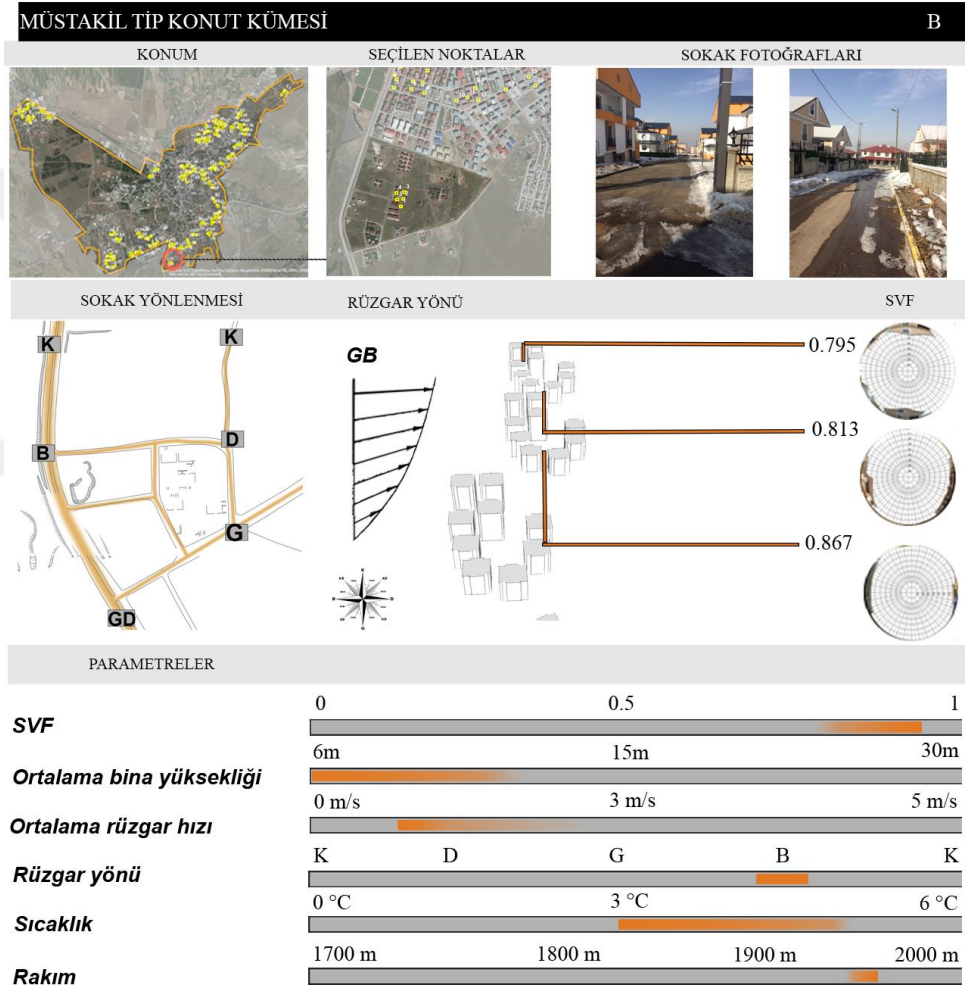
4.2.3 Müstakil Tip Yapılaşma

Müstakil tipi yapılaşmanın olduğu diğer bölgede, bina yükseklikleri, sokak yönelmeleri, sokak genişliği değişkenleri arasında normal dağılım incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 12 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.7 ile 0.9 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 6-9 m arasında değişmektedir. Rüzgar hızı ise 1.2 m/s ile 3 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.25).



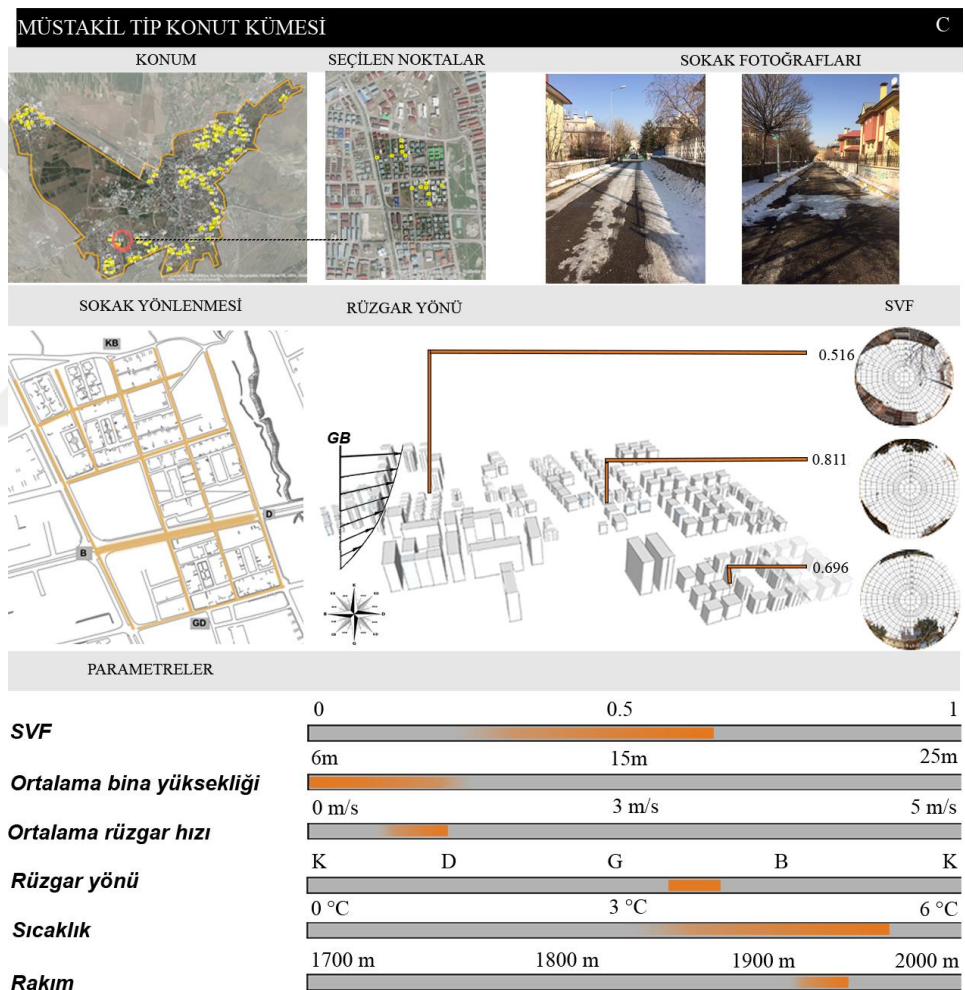
Şekil 4.25. Müstakil tipi yapılaşma (Ahmet Yesevi Mah. Bilal Habeşi Mah.)

Müstakil tipi yapılaşmanın olduğu bölgede, bina yükseklikleri, sokak yönelmeleri, sokak genişliği değişkenleri arasında normal dağılım incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 4 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.6 - 0.9 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 6-9 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 1.2 m/s ile 2 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Müstakil tip yapılaşma (Osmanbektaş Mah.)

Müstakil tip yapılaşmanın hakim olduğu bölgede, bina yükseklikleri, sokak yönelmeleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda normal dağılım incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 10 nokta seçilmiştir. Sokak yönelmeleri GB-KD ve KB-KD şeklindedir. GGO değerleri 0.5 ile 0.8 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 6-9 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 0.6 m/s ile 1.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Müstakil tipi konut kümesi (Adnan Menderes Mah.)

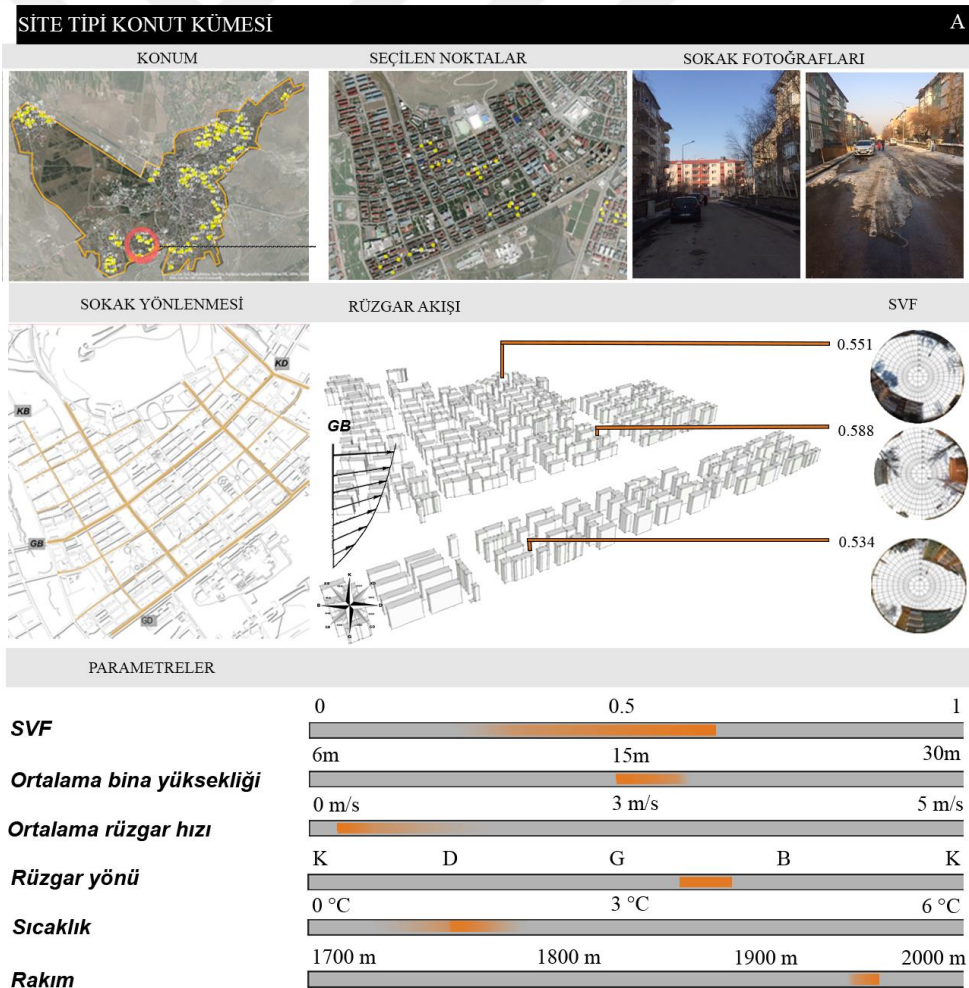
Kentin kuzeyinde müstakil tip yapılaşmanın hakim olduğu bölgede, bina yükseklikleri, sokak yönelmeleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda normal dağılım incelenmiştir. Sokak yönelmeleri K-G ve D-B olarak incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 13 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.6 ile 0.8 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 6-9 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 0.5 m/s ile 1.2 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Müstakil tipi yapılaşma (Şükrüpaşa Mah.)

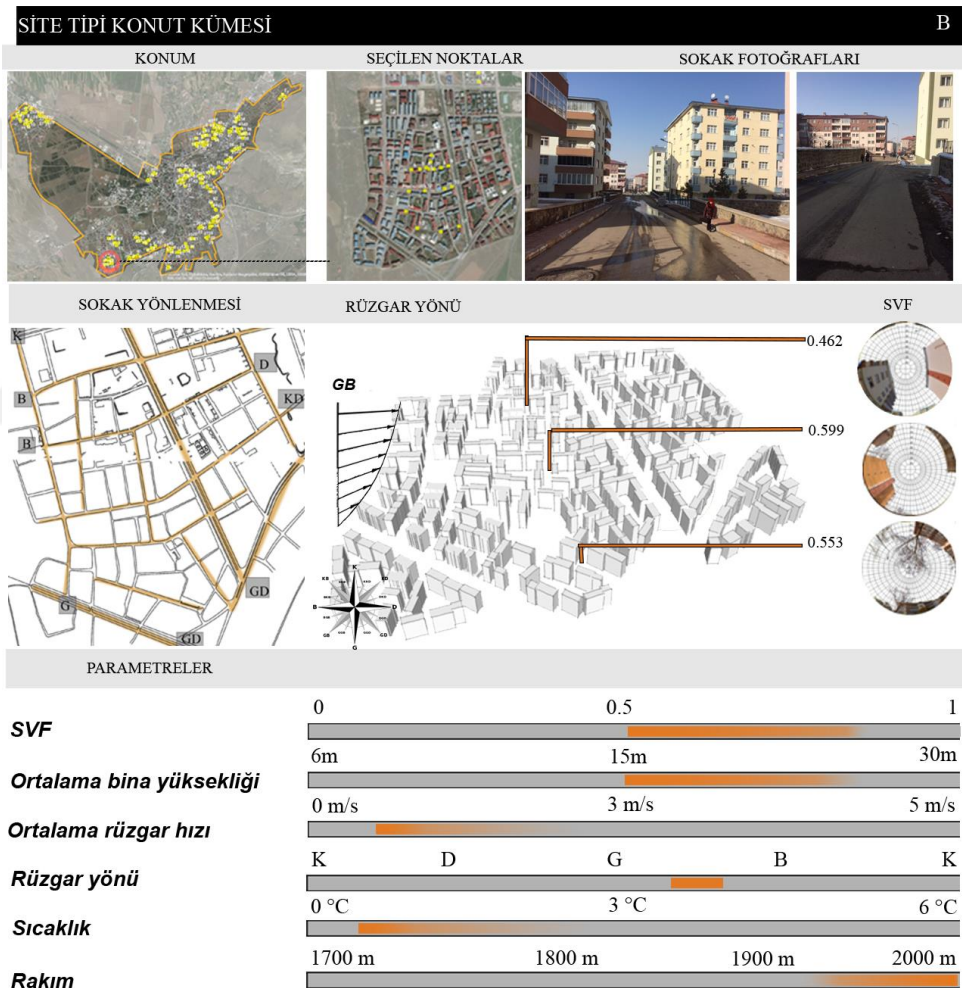
4.2.4. Site Tipi Yapılaşma

Gecekondu önleme bölgesi olarak kurulan yerleşim alanı ızgara plan üzerine oturtulmuştur. Site tipi yapılaşmanın olduğu bölgede; bina yükseklikleri, sokak yönelimleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda normal dağılım incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 24 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.4 ile 0.6 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 15-18 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 0.8 m/s ile 1.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Site tipi konut kümesi (Adnan Menderes Mah., Hacı Salih Efendi Mah., Hacı Ahmet Baba Mah., Mehmet Akif Ersoy Mah., Solakzade Mah., Ş.İsmail Aksu Mah.)

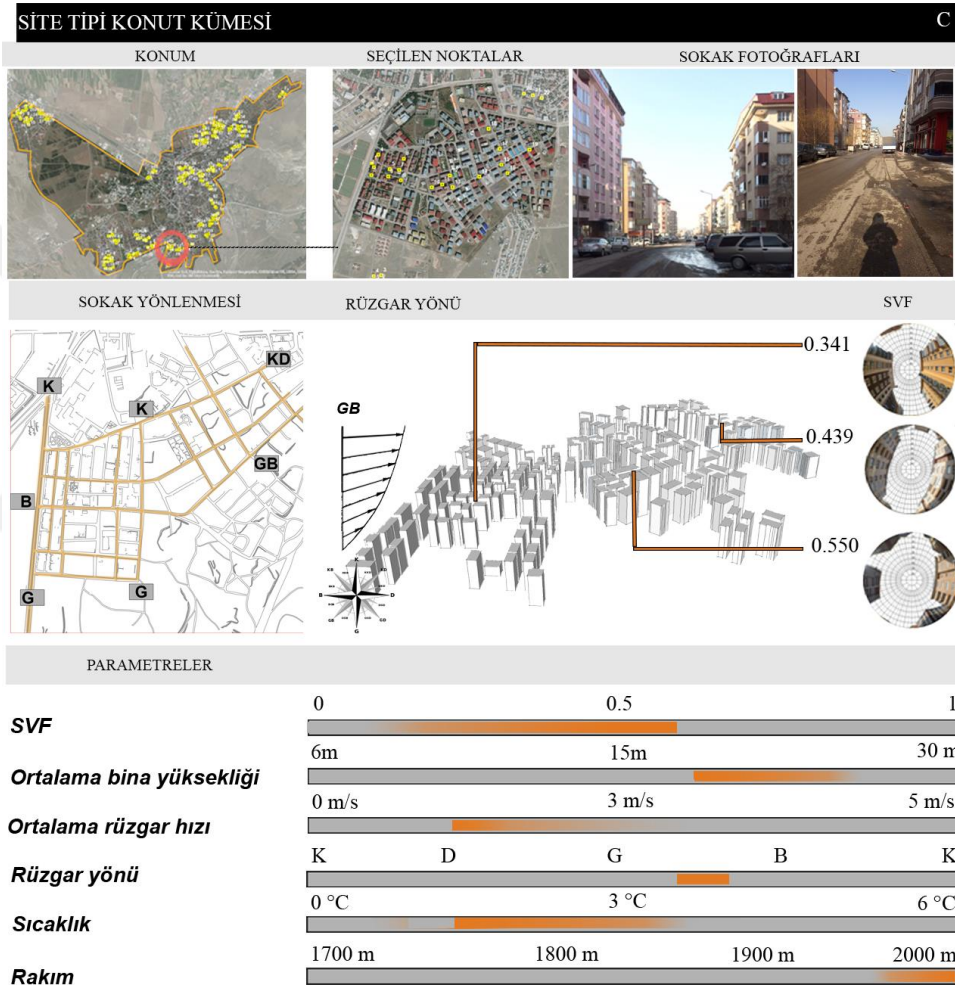
Bahçeli konut kümesi niteliği taşıyan yerleşim alanında bina yükseklikleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda normal dağılım incelenmiştir. Yatay eksende sokaklar Batı-Doğu yönündeyken kuzey ekseninde değişkenlik göstermektedir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 17 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.6 ile 0.8 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 15-24 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 0.6 m/s ile 1.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Site tipi konut kümesi (Osmangazi Mah.)

Palandöken dağ eteklerinde kurulmuş olan yerleşim alanında apartman ve site tipi yapılaşma hakimdir. Bina yükseklikleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda normal dağılım incelenmiştir. Sokak yönelmelerinde ise K-G ve D-

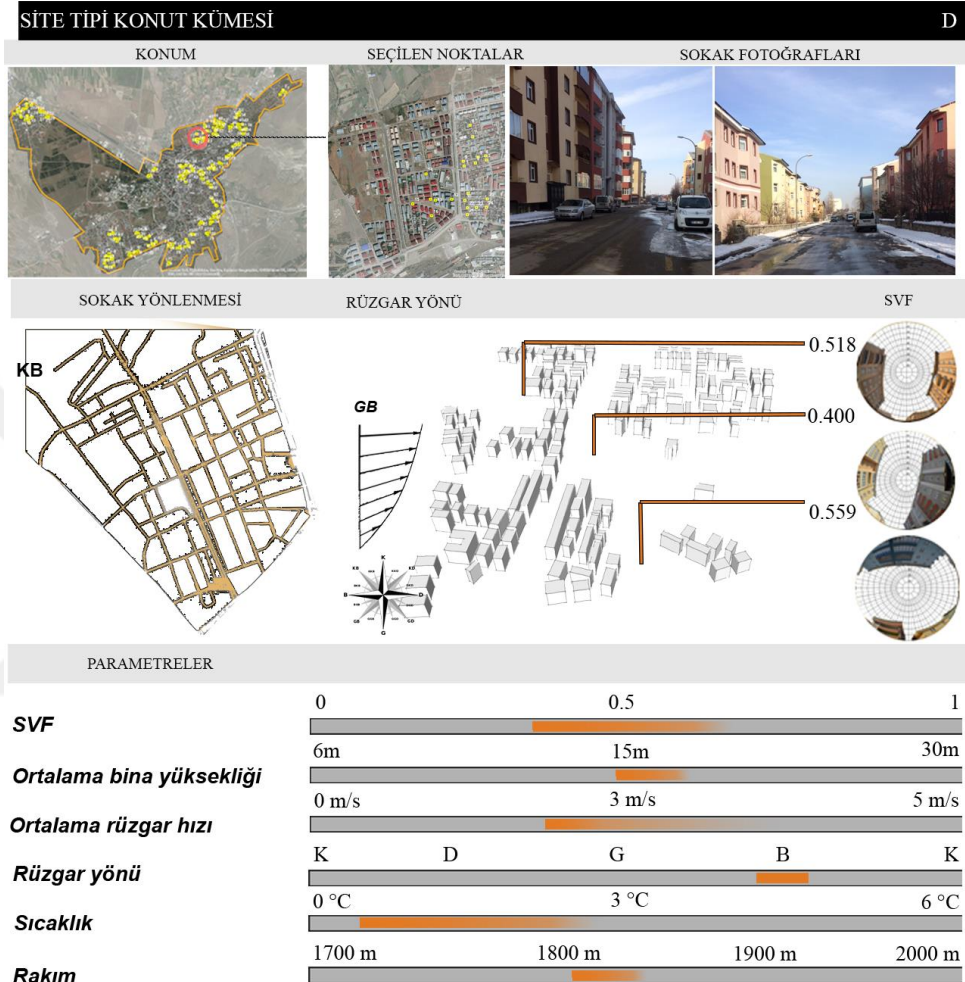
B ile GB- KD ve GD-KD olmak üzere 2 tip sokak yönlenmesi incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 21 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.2 ile 0.6 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 18-27 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 1.5 m/s ile 2.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Site tipi konut kümesi (Osmanbekaş Mah.)

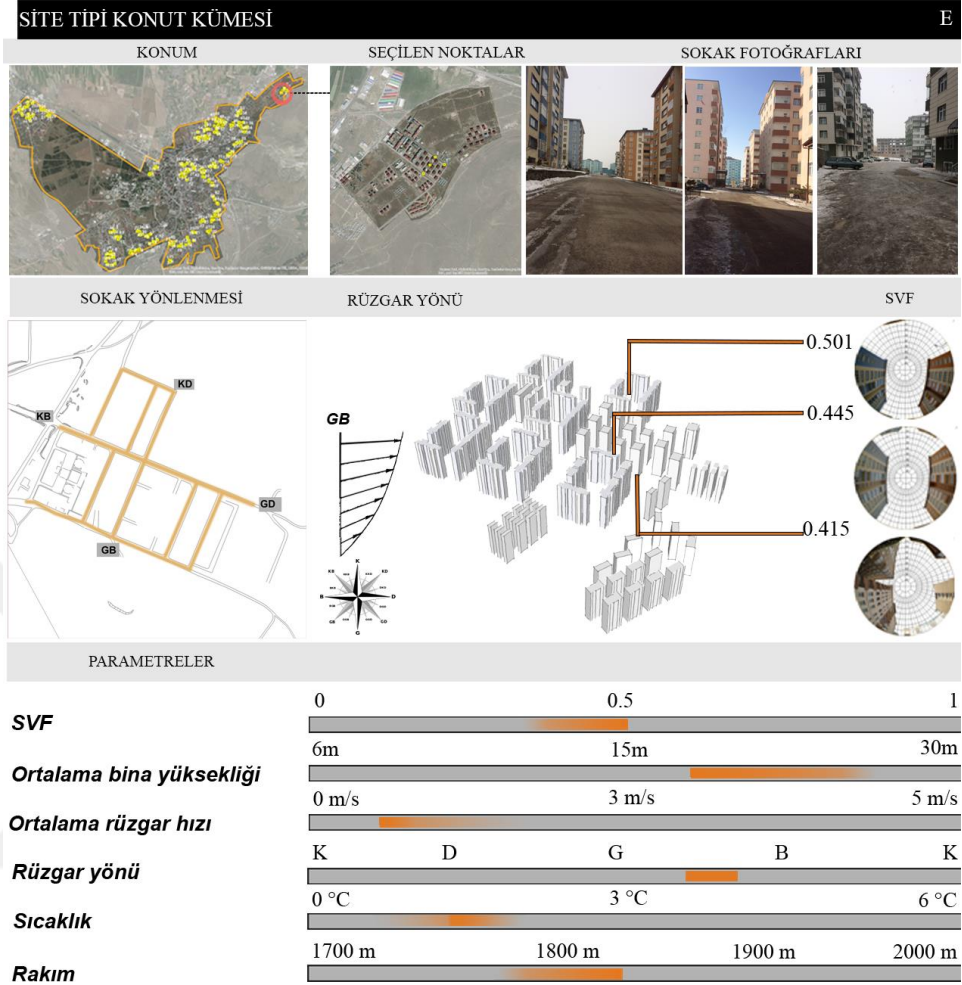
Kentin kuzeyinde yeni yerleşim alanları arasındaki bölgede bina yükseklikleri, sokak yönelmeleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda normal dağılım incelenmiştir. Sokak yönelmeleri GB- KD yönünde ve GD-KB yönünde değişmektedir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 8 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.4 ile 0.6 arasında değişkenlik göstermekte,

bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 15-18 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 1.8 m/s ile 3.0 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.32).



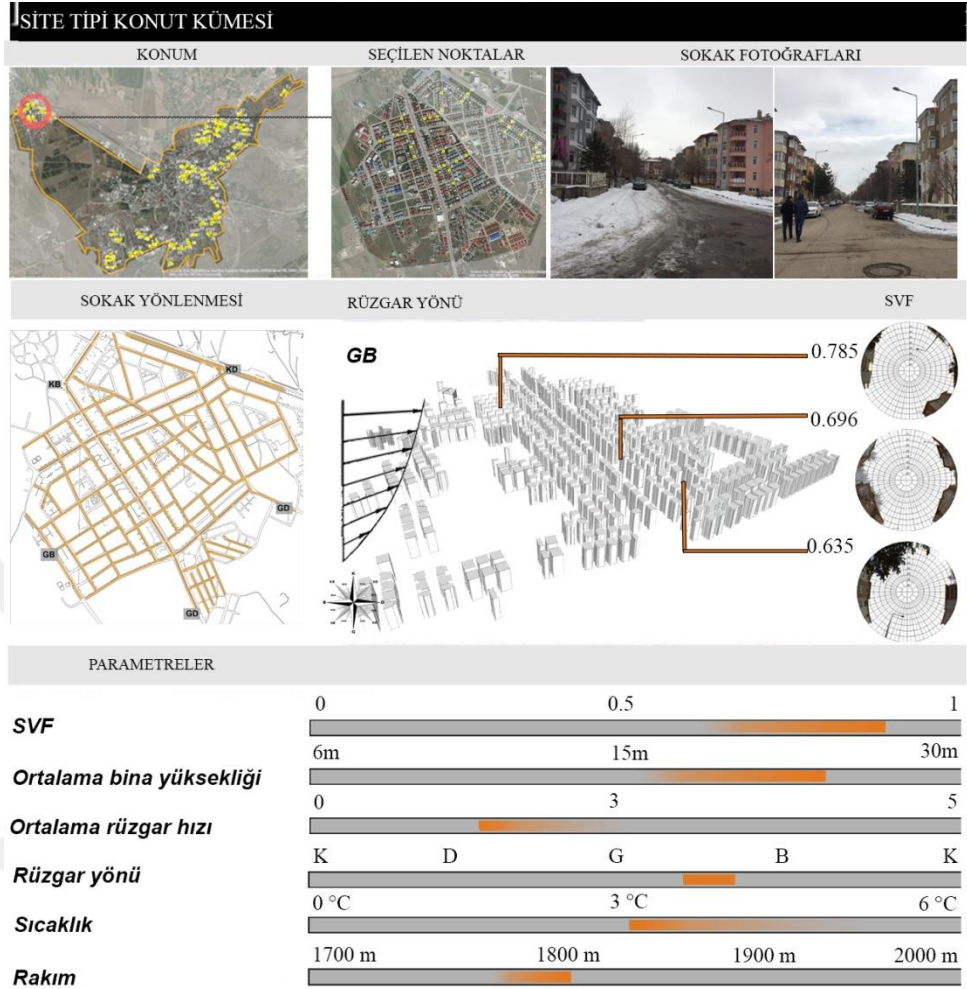
Şekil 4.32. Site tipi yapılaşma (Şükrüpaşa Mah.)

Kentin kuzey yönünde yeni gelişim alanı olarak nitelendirilen yerleşim alanında site tipi yapılaşmalar hakimdir. Bina yükseklikleri, sokak yönelmeleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda normal dağılım incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 4 nokta seçilmiştir. Güneybatı'dan gelen hakim rüzgara paralel sokakların olduğu alanda diğer parametreler: GGO değerleri 0.4 ile 0.5 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 18-24 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgar hızı ise 0.6 m/s ile 1.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Site tipi konut kümesi (Kurtuluş Mah.)

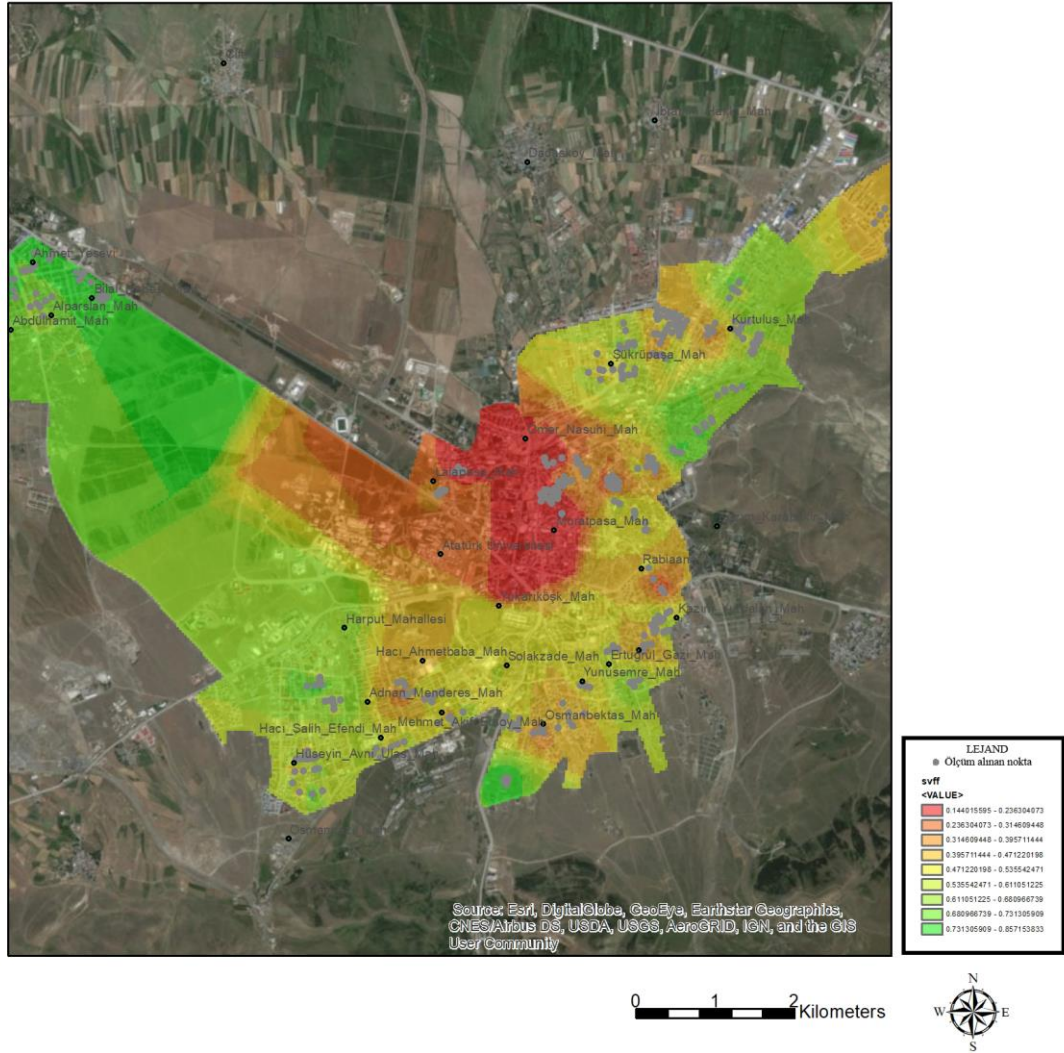
Kent merkezinde uydu kent olarak kurulmuş olan yerleşim alanında apartman ve site tipi yapılaşma hakimdir. Sokak yönlenmeleri GB-KD ile GD-KB şeklinde incelenmiştir. Bina yükseklikleri, sokak yönelmeleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda normal dağılım incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 12 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.6 ile 0.8 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 15-24 m arasında değişmektedir Rüzgar hızı ise 1.6 m/s ile 2.3 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Site tipi yapılaşma (Alparslan Mah., Abdülhamit Mah.)

4.2.5. GGO Mekansal Tahmini Haritası

Kentte 325 noktadan alınan GGO değerleri ArcMap 10.3 programı Spatial Analyst modülünde Kriging yöntemi kullanılarak tahmini kentsel geometri haritası üretilmiştir (Şekil 4.35). Kent merkezi GGO değerleri sonuçlarına göre kanyon geometrisi apartman tipi yapılaşmanın hakim olduğu mahallelerde 0' a yakın değerler olduğu incelenmiştir.



Şekil 4.35. GGO mekansal analizi

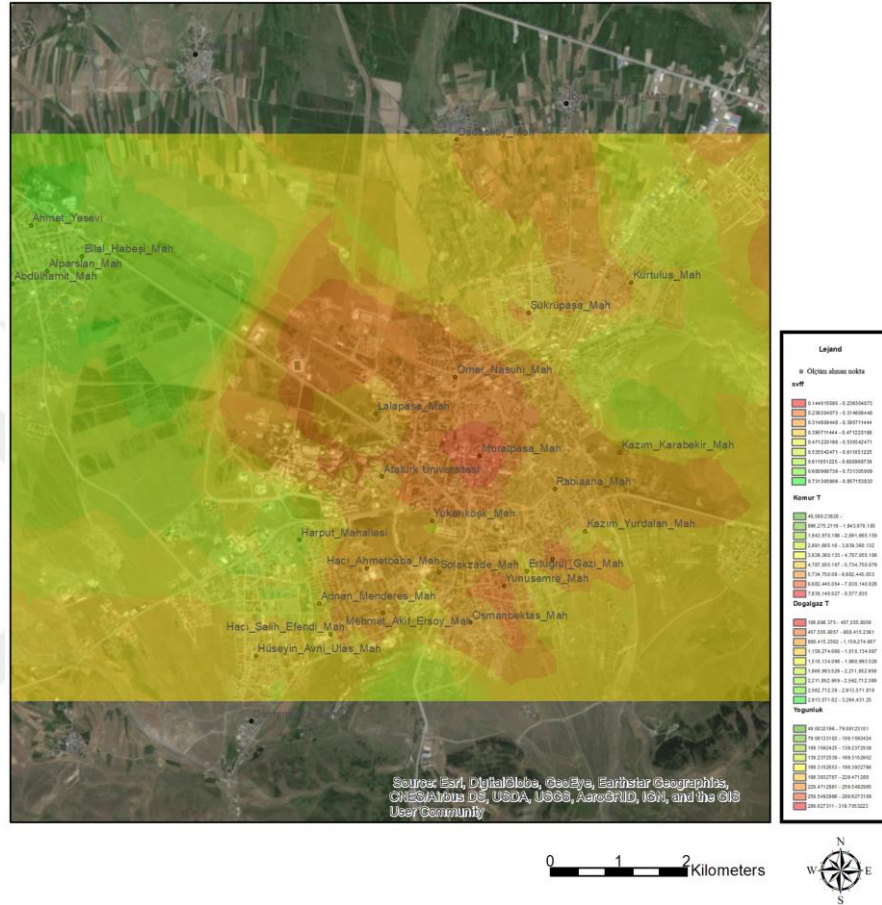
4.3. GGO ve Kirlilik Değerlerinin Mekansal Sentezi

Emisyon değerleri, fiziksel faktörler ve coğrafi faktörler ile GGO açısından yoğun bölgeler tespit edilmiştir. Veriler arasındaki ilişki istatistiksel göstergelerle incelenmiştir.

4.3.1. GGO Fiziksel Faktörlerin Mekansal Sentezi

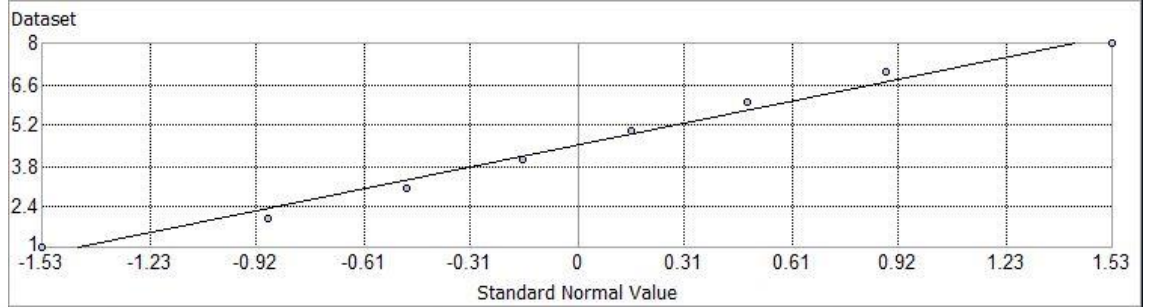
GGO değerlerine bağlı olarak 0'a yakın değer alan yerleşim alanlarında nüfus yoğunluğunun fazla olduğu incelenmiştir. Grafikte verilen fiziksel faktörler (b) ve GGO

faktörlerinin (c) nin yoğunluk dağılımları verilmiştir. Fiziksel faktörler ve GGO yoğunluk dağılımı farklılık göstermektedir. (Şekil 4.36).

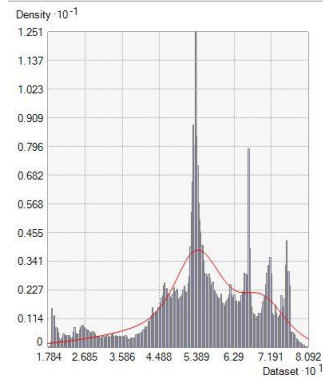


Şekil 4.36. GGO ve fiziksel faktörlerin mekansal sentez haritası

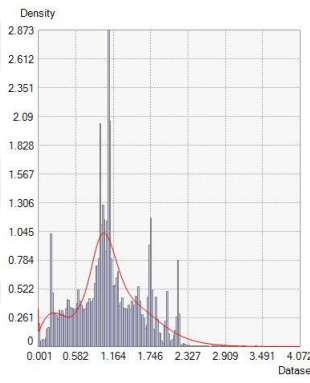
	Fiziki F.	GGO
Ortalama	5.344	0.355
Standart Sapma	0.671	0.135



(a)



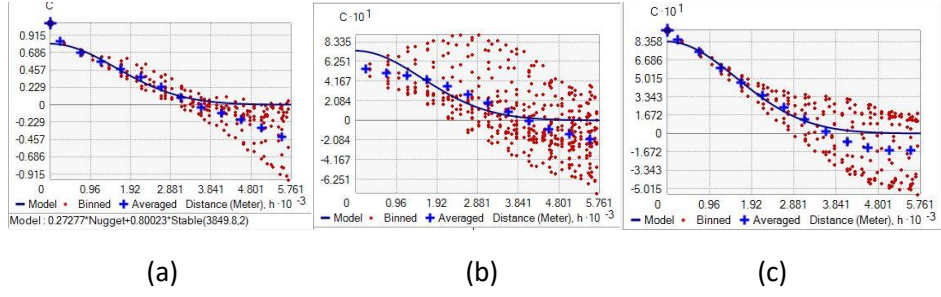
(b) Fiziksel faktörler yoğunluk



(c) GGO yoğunluk dağılımı

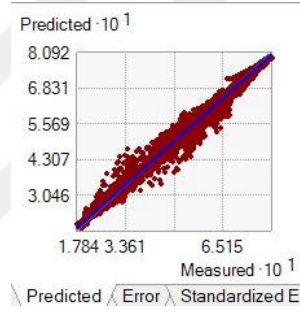
Şekil 4.37. GGO ve fiziksel faktörler mekansal sentez yoğunluk dağılımı

İki değişken arasındaki farklı varyasyonlar şekilde verilmiştir. Farklı veri setler, arasında 3 farklı varyans hesaplanmıştır. Covariance 0 olduğunda varyanslar arası ilişki olmadığı ancak diğer durumlarda ilişki olduğu incelenmiştir. Nokta değerlerinin eğrinin etrafında toplanmış olması durumu a varyasyonunda incelenmekte b ve c varyasyonlarında eğriden uzaklaştıkları incelenmektedir. Bu durum iki veri arasında mekansal ilişkinin güçlü olmadığını göstermektedir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38. GGO ve fiziksel faktörler mekansal sentezi varyasyonları

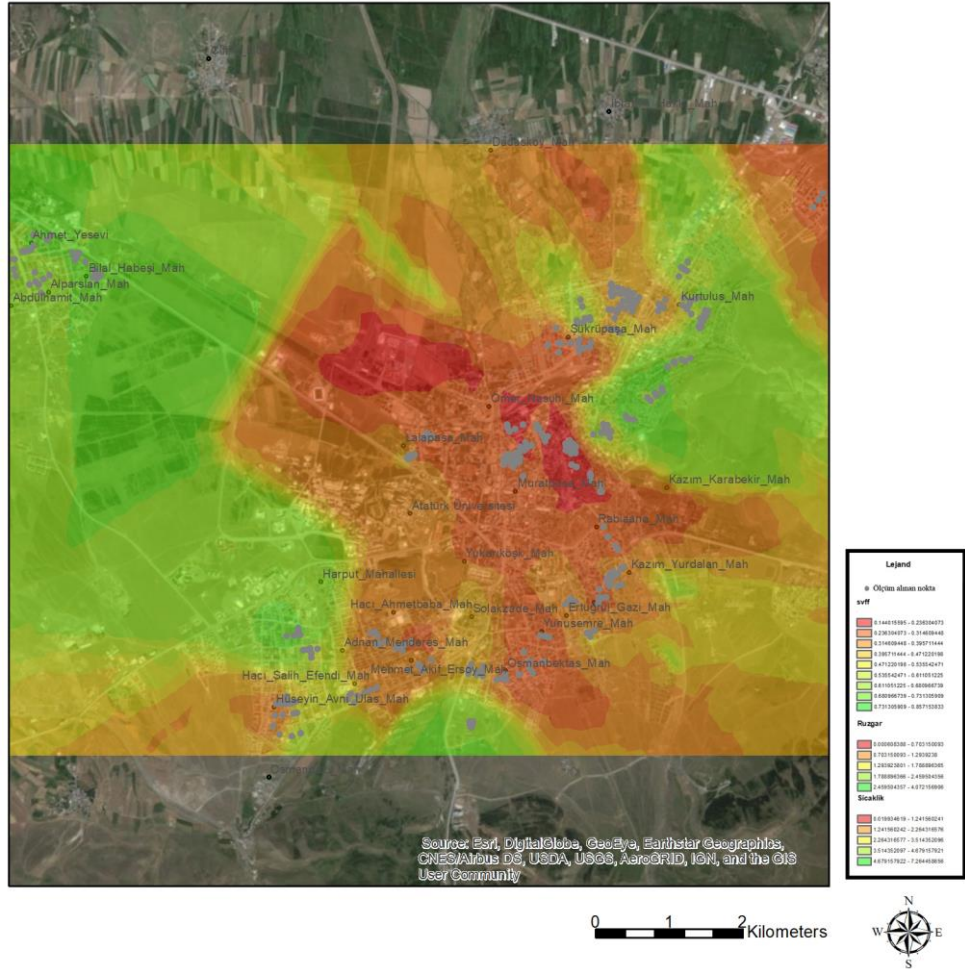
Mekana yansıtılan tahmini hataya göre emisyon değerleri, coğrafi faktörler ve fiziksel faktörler arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Tahmini hata

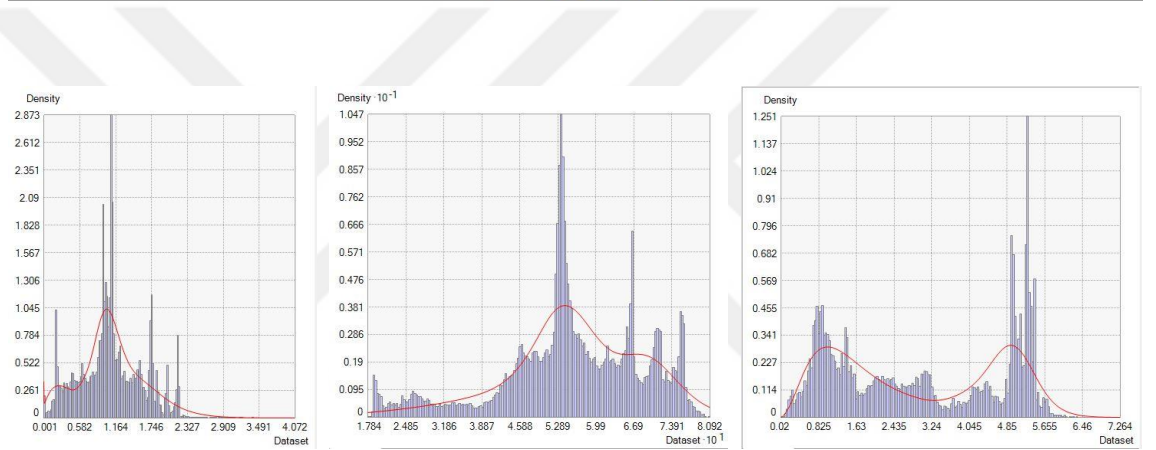
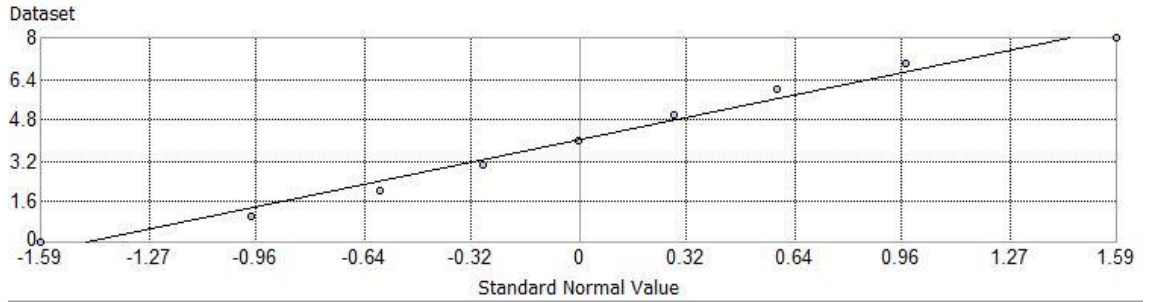
4.3.2. GGO ve Coğrafi Faktörlerin Mekansal Sentezi

GGO ile rüzgar hızı ve sıcaklık arasındaki ilişki incelenmiştir. Veri setlerine ait yoğunluk dağılımları incelendiğinde 3 veri setinde de farklı noktalarda pik seviyelere ulaşıldığı görülmektedir. Rüzgar hızı ve GGO değerlerinin mekanda dağılımı paralellik göstermektedir (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. GGO ve Coğrafi faktörler mekansal sentez haritası

	Rüzgar	Sıcaklık	GGO
Ortalama	1.106	2.97	0.355
Standart Sapma	0.543	1.77	0.135



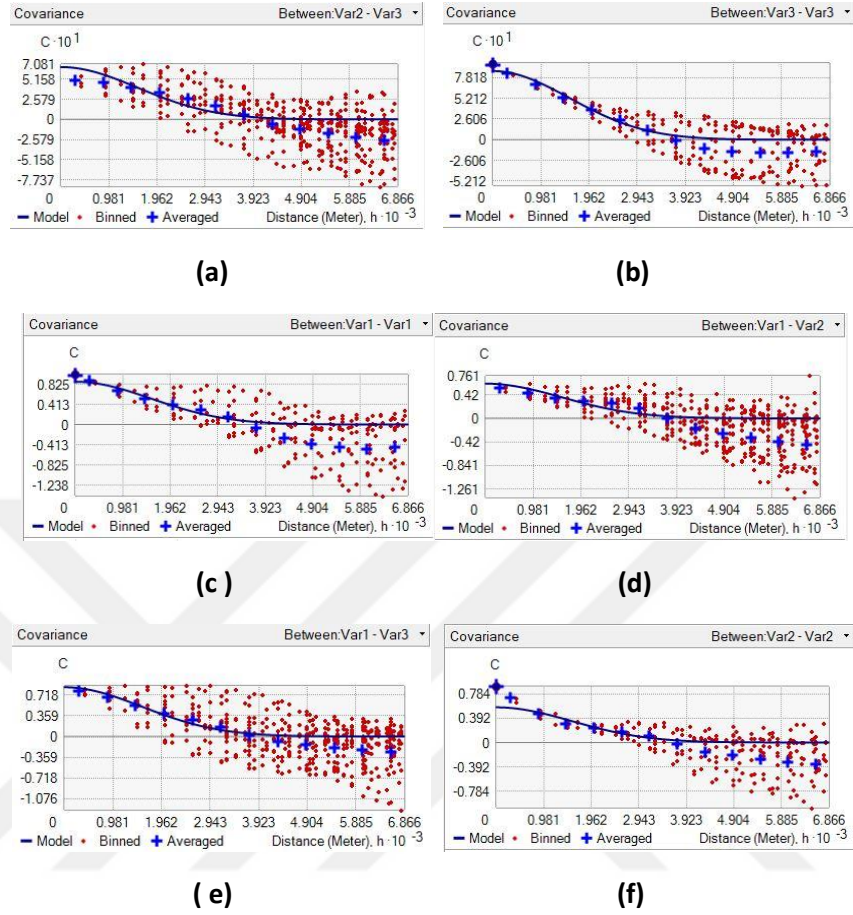
(a)

(b)

(c)

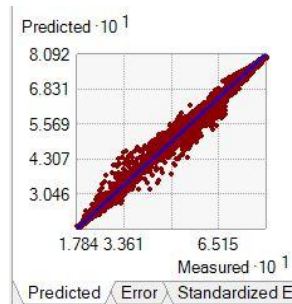
Şekil 4.41. (a) Sıcaklık yoğunluk dağılımı (b)GGO dağılımı (c) Rüzgar yoğunluk dağılımı

Üç değişken arasındaki farklı varyasyonlar şekilde verilmiştir. Farklı veri setleri, arasında 6 farklı varyans hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre noktaların eğri etrafında yoğunluk göstermesi nedeniyle değişkenler arasında güçlü ilişki olduğundan söz edilebilir. GGO azalma görülürken rüzgar hızında da azalma mevcuttur. Sıcaklık değerleri ise mekanda diğer iki değişkenle paralellik göstermemektedir (Şekil 4.42).



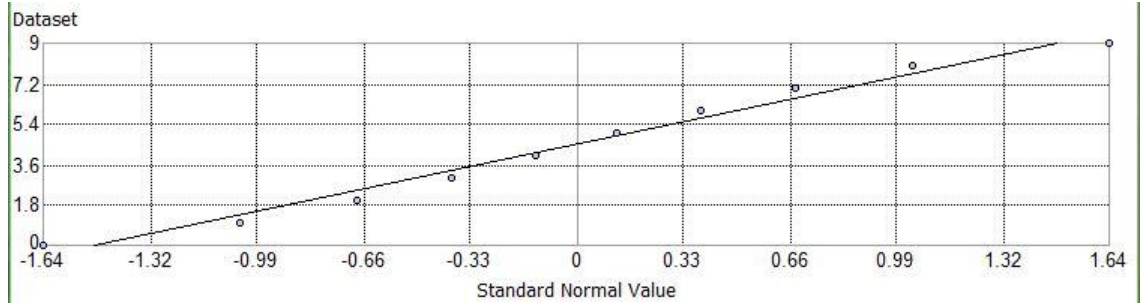
Şekil 4.42. GGO -Coğrafi faktörler mekansal sentezi varyasyonları

Mekana yansıtılan tahmini hataya göre emisyon değerleri, coğrafi faktörler ve fiziksel faktörler arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 4.43).

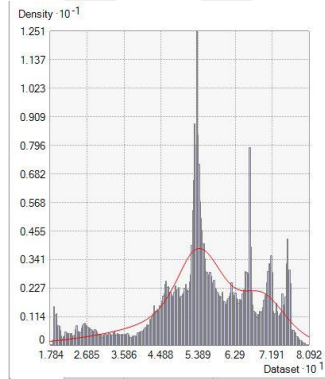


Şekil 4.43. Tahmini hata

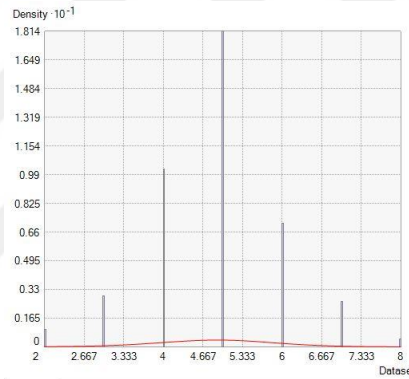
	Kirletici	GGO
Ortalama	4.87	0.355
Standart Sapma	1.07	0.135



(a)



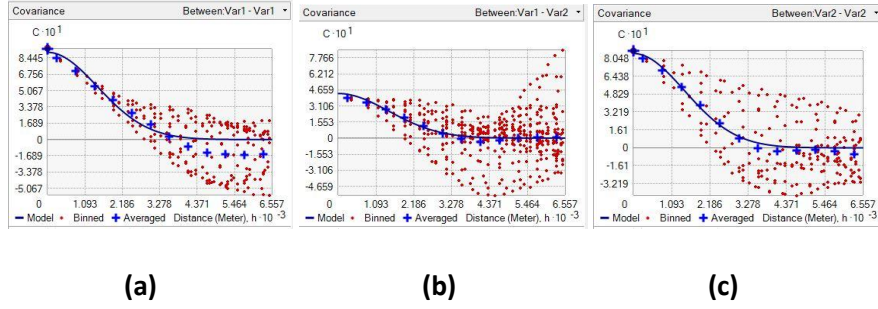
(b) GGO yoğunluk dağılımı



(c) Emisyon değerleri yoğunluk dağılımı

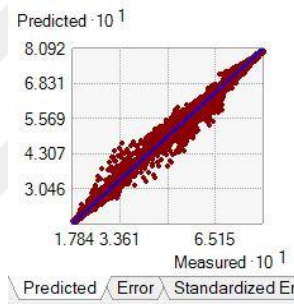
Şekil 4.45. Yoğunluk değerleri

İki değişken arasındaki farklı varyasyonlar şekilde verilmiştir. Farklı veri setleri, arasında 3 farklı varyans hesaplanmıştır. (b) varyasyonunda noktalar eğri etrafında yoğunlaşmakta (a) ve (c) varyasyonunda uzaklaşmaktadır. Bu durumda kent merkezi tarihi çekirdek çevresi için değişkenler arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Kentin diğer yerleşim alanlarında ise yer yer ise artan GGO değerlerine karşın emisyon değerlerinde artış gözükmemesi nedeniyle iki veri seti arasında güçlü bir ilişki bulunmamaktadır (Şekil 4.46).



Şekil 4.46. Varyasyon

Mekana yansıtılan tahmini hataya göre GGO değerleri ve kirlilik faktörleri arasında doğrusal ilişki tahmin edilmiştir (Şekil 4.47).

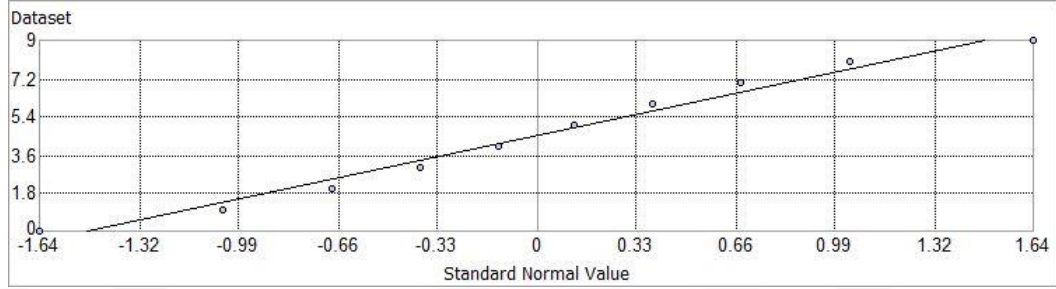


Şekil 4.47. Tahmini Hata

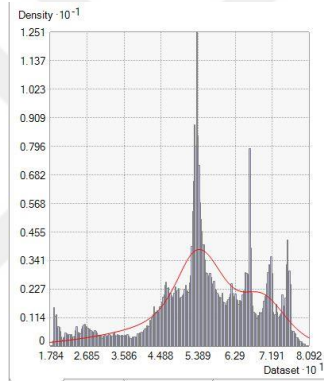
4.3.4. GGO ve Kirlilik Dağılımı Mekansal Sentezi

Hava kirliliği mekansal dağılımını ve GGO değerleri girdisi kullanılarak sentez haritası üretilmiştir (Şekil 4.48).

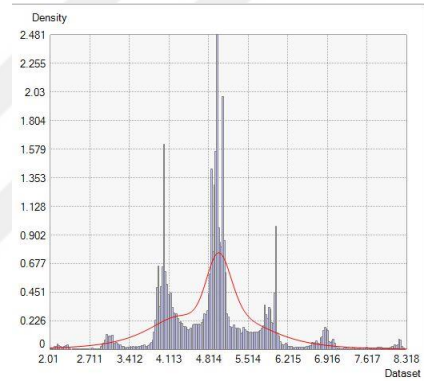
	Kirletici F.	Fiziksel F.	Coğrafi F.	GGO
Ortalama	1.106	2.97	0.355	0.355
Standart Sapma	0.543	1.77	0.135	0.135



(a)



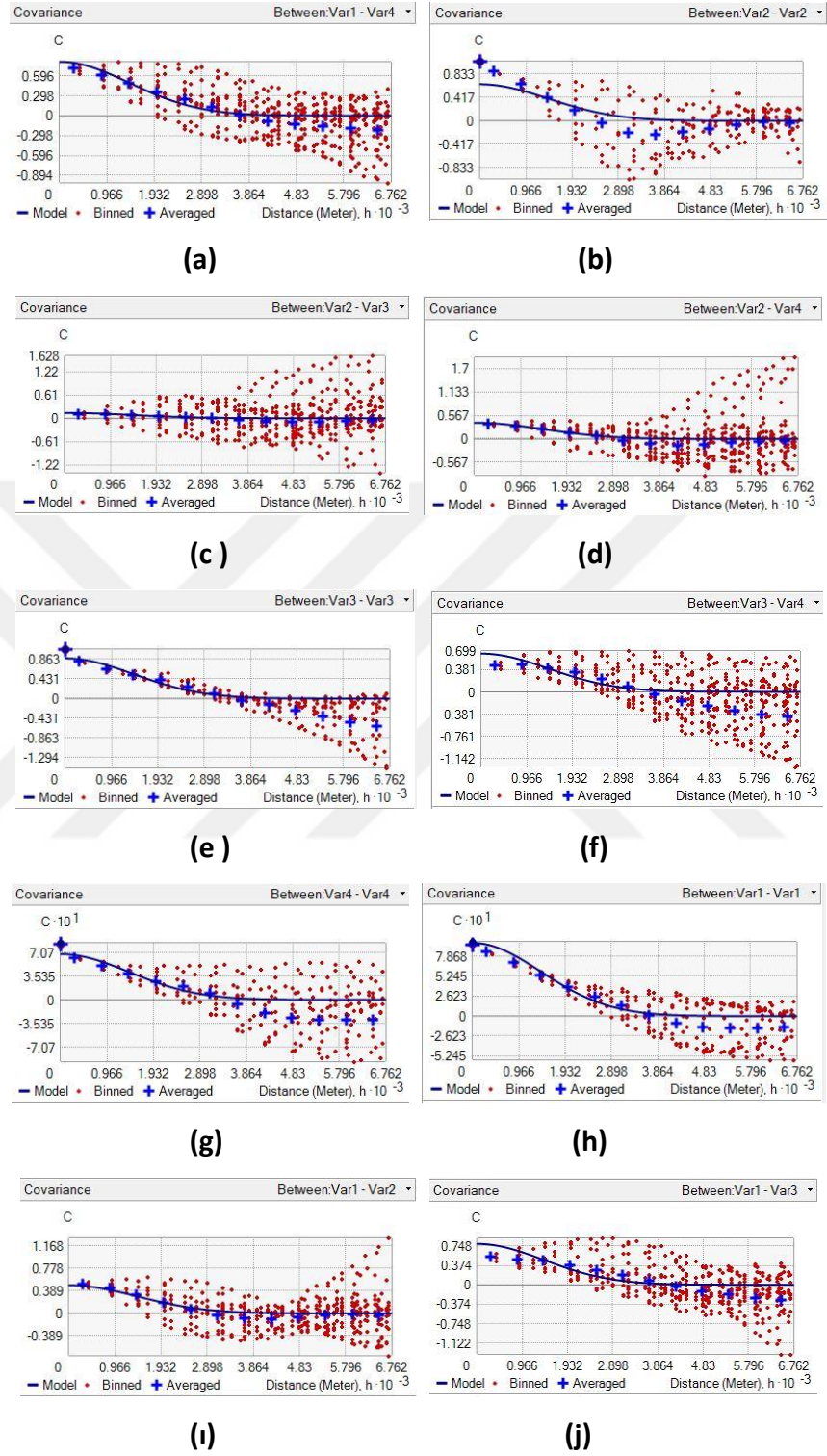
(b)



(c)

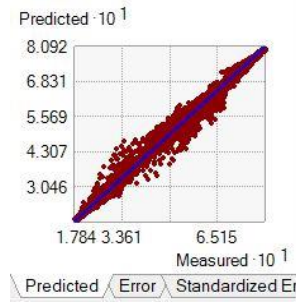
Şekil 4.49. Kirlilik Dağılımı ve GGO Sentezi Yoğunluk dağılımı

İki değişken arasındaki farklı varyasyonlar şekilde verilmiştir. Farklı veri setleri, arasında 10 farklı kovaryans hesaplanmıştır (Şekil 50).



Şekil 4.50. Kirlilik dağılımı ve GGO Sentezi Varyasyon grafikleri

Mekana yansıtılan tahmini hataya göre GGO değerleri ve kirlilik faktörleri arasında doğrusal ilişki tahmin edilmiştir (Şekil 4.51).



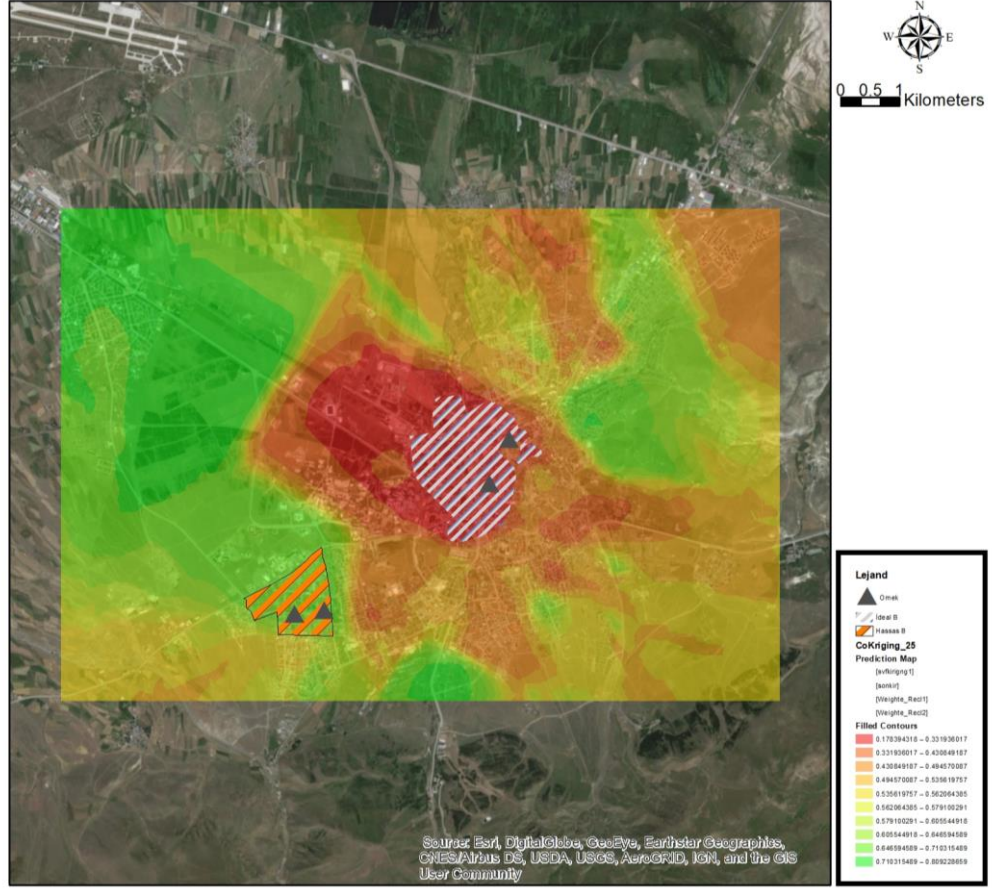
Şekil 4.51. Tahmini Hata

4.4. Kirlilik Dağılımı ve Kanyon Karakteristik Değerleri Arasındaki İlişki

Kirlilik dağılımı ve kanyon karakteristikleri arasındaki ilişkiye açıklamak üzere simülasyonlar yapılmıştır. Sayısal akışkanlar dinamiği ANSYS 16.0 modeli ile gerçekleştirilen simülasyonlarda akışkan olarak rüzgar tanımlanmıştır. Seçilen sokak kanyonlarında çatı seviyesinde ve yaya seviyesinde rüzgar akışı incelenmiştir.

4.4.1. Yaşam Konforunu Destekleyen ve Engelleyen Bölgelerin Seçilmesi

Üretilen sentez haritasından kirlilik ve GGO değerleri açısından yaşam konforunu engelleyen (A) bölge ve yaşam konforunu destekleyen (B) bölge tespit edilmiştir. Tespit edilen bölgelerde rüzgarın dağılımını tespit etmek üzere rastgele seçim yapılmıştır (A bölgesi için 12 deneme, B bölgesi için 8 deneme yapılmıştır) (Şekil52).

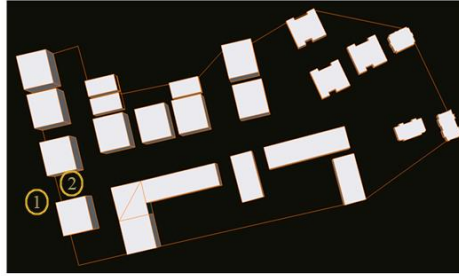


Şekil 4.52. Yaşam konforunu destekleyen ve engelleyen bölgelerden örnek seçilmesi

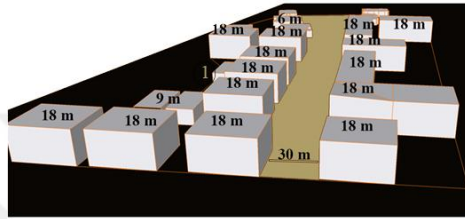
4.4.2. Yaşam Konforunu Destekleyen Bölgede Bitki Örtüsü Değişkeninin Kirlilik Dağılımına Etkisi

İdeal bölgede rastgele seçilen noktada sokak yönlenmesi GB-KD arasında ortalama rüzgar hızı 1.2 m/s olarak ölçülmüştür. Kanyon boyunca vejetasyon ögesi kullanılmamıştır. Alanda bina aralıkları 10 m, bina yönlenmeleri KD şeklinde yerleştirilmiştir. Kanyon geometrisi GGO ortalaması 0'a yakın sonuç vermiştir (Şekil 4.53)

ÜST GÖRÜNÜŞ



PERSPEKTİF ①



KANYON GEOMETRİSİ

SOKAK FOTOĞRAFI ②

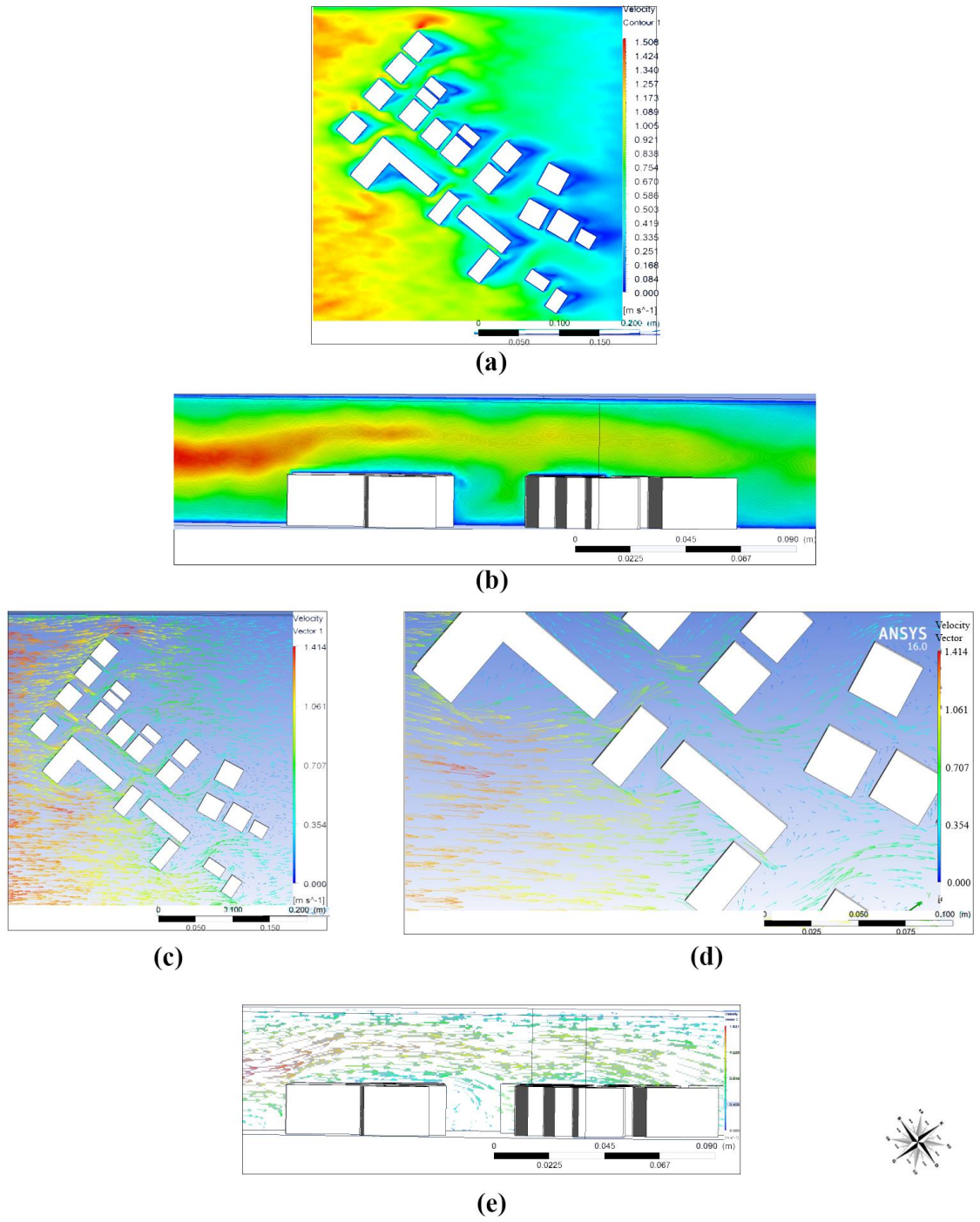


Kat yüksekliği: 18 m
Yol genişliği: 30 m
Rüzgar hızı: 1.5 m/s
Rüzgar yönü: GD



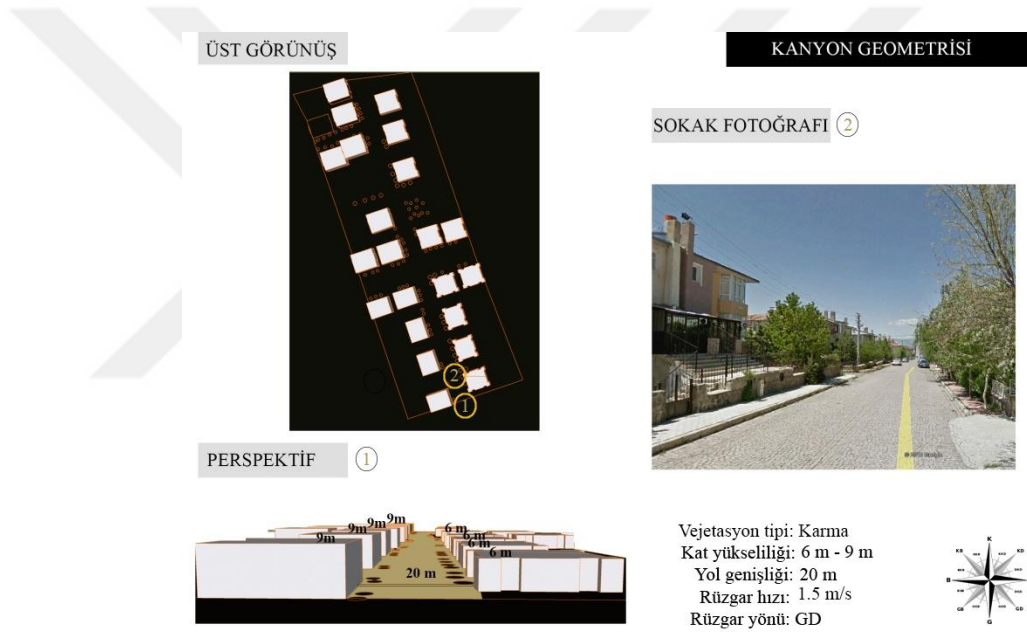
Şekil 4.53. Yaşam konforunu destekleyen bölge ağaçsız sokak alan tanıtımı

Kanyon içerisindeki rüzgar hızının azaldığı gözlenmiştir. Ancak yine de rüzgar hızı 0' a düşmemekte 0.25 m/s ile 0.8 m/s arasında değişmektedir. Rüzgarın yön değiştirmesini sağlayacak herhangi bir unsur olmadığı için tek engel olan yapılara çarpmakta ve akışına aynı yönde devam etmektedir (Şekil 4.54).



Şekil 4.54. (a) sokak kanyonunda rüzgarın dağılımı plan ölçeğinde, (b) sokak kesitinde rüzgarın yayılışı (c) ve (d) rüzgarın planda vektörel dağılımı (e) sokak kesitinde rüzgarın vektörel dağılımı.

İdeal bölgede rastgele seçilen noktada sokak yönlenmesi GD-KB şeklindedir. Ortalama rüzgar hızı 1.5 m/s olarak ölçülmüştür. Kanyon boyunca vejetasyon ögesi olarak sık aralıklarla çalı grubu kullanılmıştır. Bina yönlenmeleri KD şeklinde yerleştirilmiştir. Bina yükseklikleri 6-9 m arasında değişmektedir. GGO ortalaması 1'e yakın sonuç vermiştir. Sokak kanyonunda karma bitki örtüsüne yer verilmiştir. Ön bahçelerde ağaç türleri (*Acer negundo*, *Eleagnus angustifolia*, *Betula verrucosa*, *Pinus slyvestris*, *Populus alba*, *Salix alba*) kaldırımlarda daha çok çalı türleri (*Cornus alba Sibirica*, *Rosa canina*, *Symphoricarpus albus*, *Thuja orientalis*) kullanılmıştır.(Şekil 4.55).

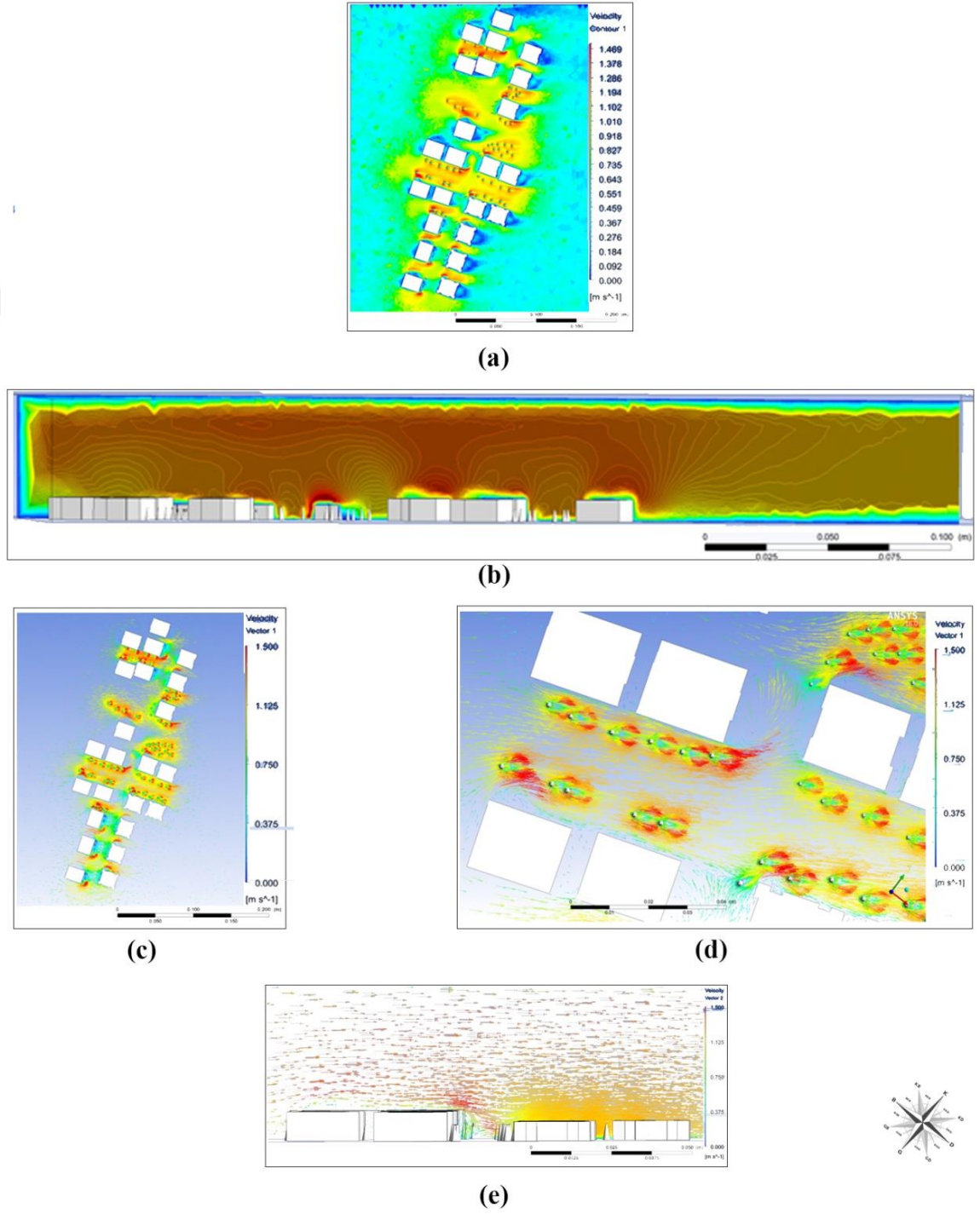


Şekil 4.55. Yaşam konforunu destekleyen bölge ağaçlı sokak alan tanımı

4.4.3. Yaşam Konforunu Engelleyen Bölgede Bitki Örtüsü Değişkeninin Kirlilik Dağılımına Etkisi

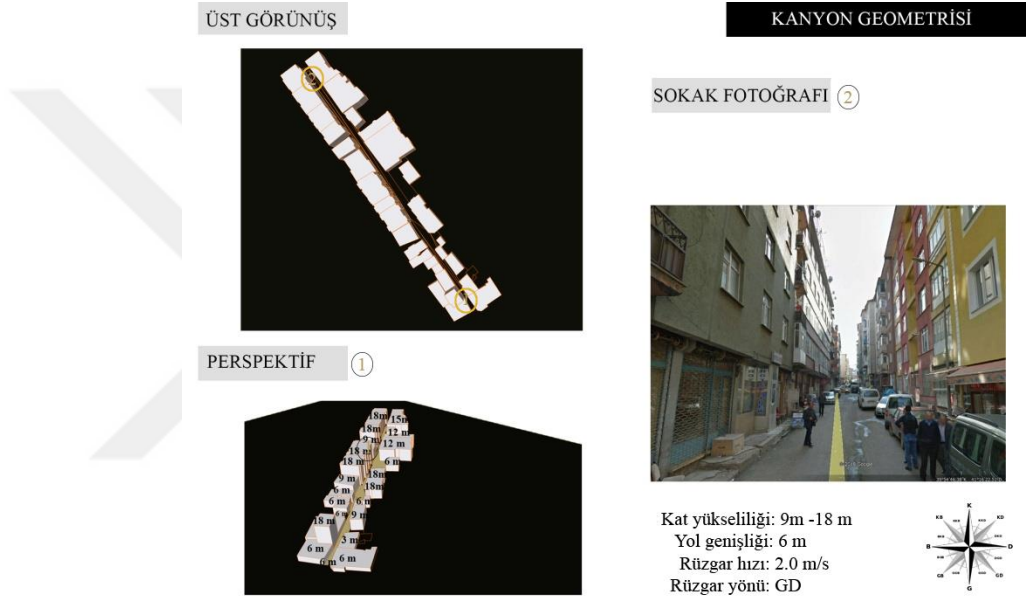
Kanyon içerisindeki rüzgar hızı düşüşe uğramamakta, vejetasyon rüzgarın yönlenmesine ve hızına olumlu yönde etki etmektedir. GD'dan gelen rüzgar, kanyon içerisinde ağaca çarpıp durmakta daha sonra daha hızlı bir şekilde ağacın yerleştirildiği yöne doğru hareket etmektedir. Normal şartlarda ise binaların arkasında rüzgarın kaviteye uğradığı yani herhangi bir esinti olmadığı incelenmiştir. Bitki olan ve

normal şartlarda rüzgarın içeri girmesi olası olmayan durumlarda bitki varlığı rüzgarın içeriye girmesine neden olmaktadır (Şekil 4.56).



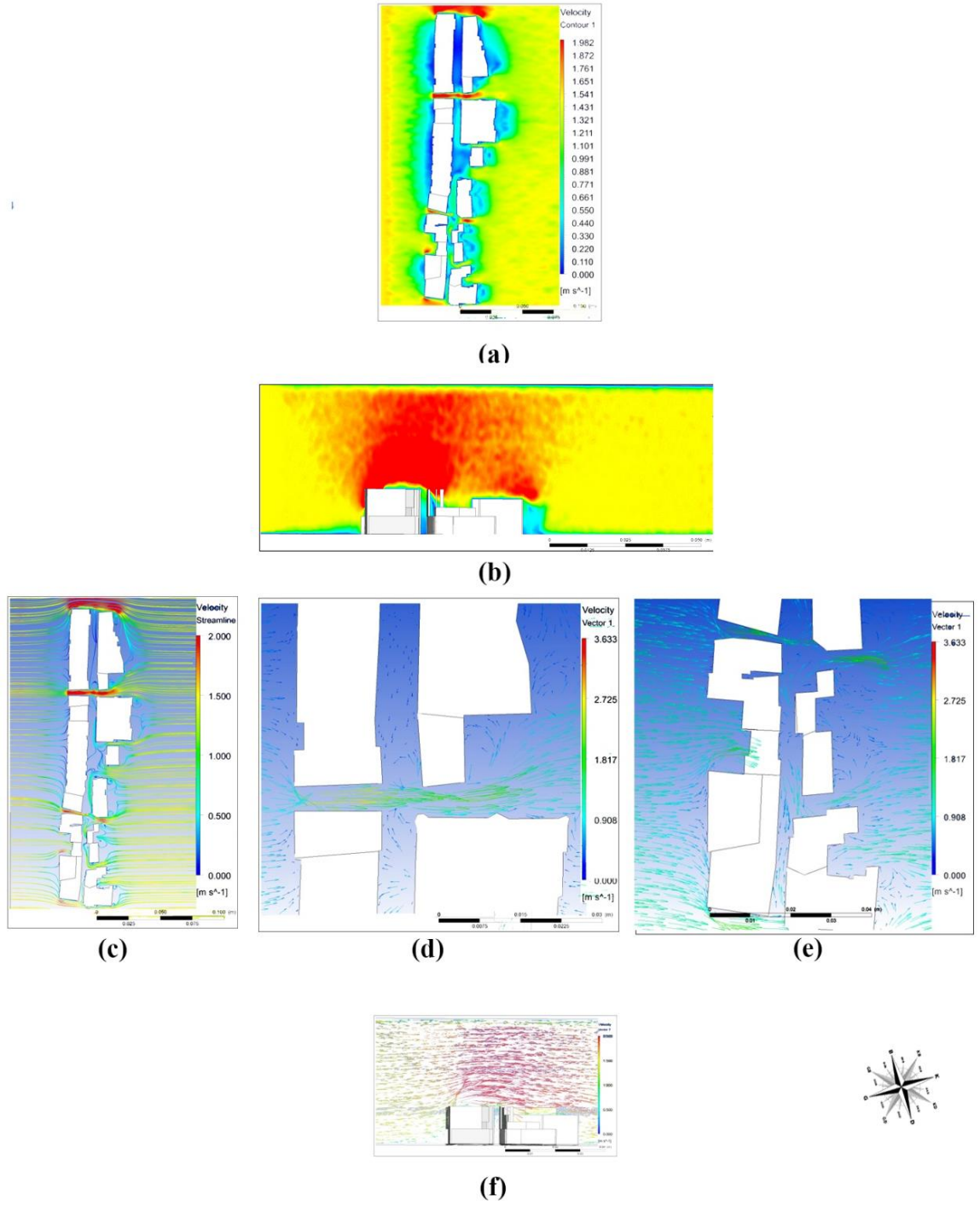
Şekil 4.56. (a) sokak kanyonunda rüzgarın dağılımı plan ölçeğinde, (b) sokak kesitinde rüzgarın yayılışı (c) ve (d) rüzgarın planda vektörel dağılımı (e) sokak kesitinde rüzgarın vektörel dağılımı.

Yaşam konforunu engelleyen bölgede sokak yönlenmesi GD-KB şeklinde oluşturulmuştur. Ortalama rüzgar hızı 2.0 m/s olarak ölçülmüştür. Kanyon boyunca rüzgarı engelleyici veya yönünü değiştirici herhangi bir unsur bulunmamaktadır. Bina aralıkları 5 m'dir ve kanyon boyunca toplamda 6 kez bölünmüştür. Bina yönlenmeleri GD şeklinde yerleştirilmiştir. Bina yükseklikleri 9-18 m arasında değişmektedir. GGO ortalaması 1'e yakın sonuç vermiştir (Şekil 4.57)



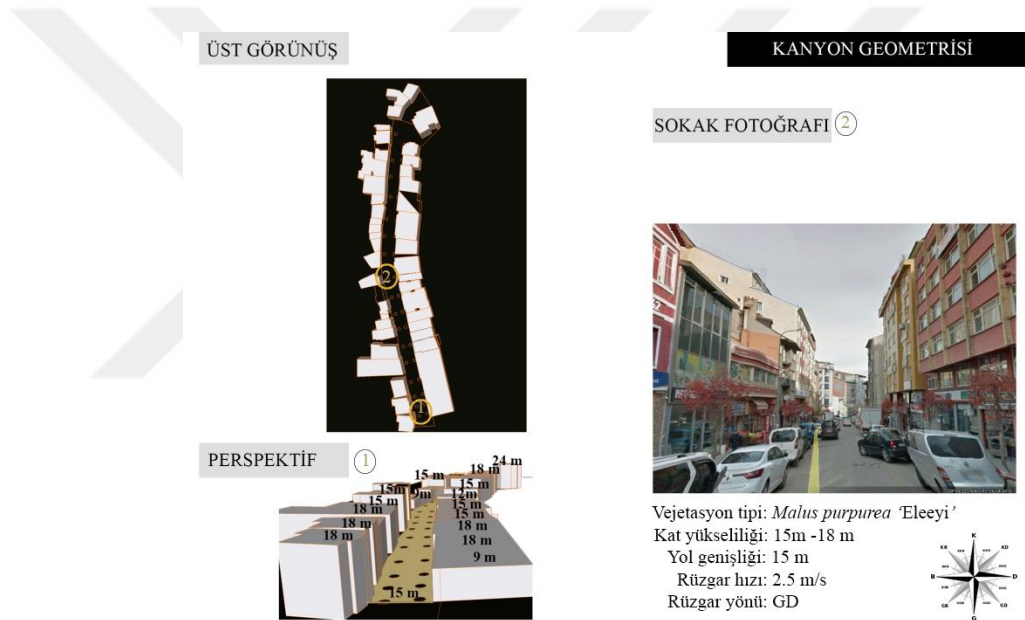
Şekil 4.57. A bölge ağaçsız sokak alan tanımı

Kanyon içerisindeki rüzgar hızı düşüşe uğramakta, kanyon geometrisinin 1'e yaklaştığı durumlarda esinti meydana gelmemektedir. Açıklıklardan giren rüzgar kanyon içerisinde hareket etmemekte doğrudan karşısındaki boşluktan çıkış yapmaktadır. Binaların rüzgarın geliş yönüne dik olarak konumlandırılmış olması kanyon içerisinde rüzgarın kavitasyon yapmasına neden olmakta ve rüzgar hareketine engel olmaktadır (Şekil 4.58).



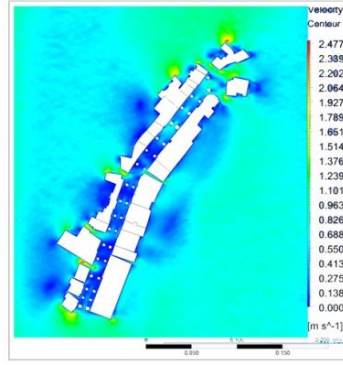
Şekil 4.58. (a) sokak kanyonunda rüzgarın dağılımı plan ölçeğinde, (b) sokak kesitinde rüzgarın yayılışı (c), (d) ve (e) rüzgarın planda vektörel dağılımı (f) sokak kesitinde rüzgarın vektörel dağılımı.

Yaşam konforunu engelleyen bölgede rastgele seçim yapılan sokakta rüzgarın hareketi incelenmiştir. Sokak yönlenmesi K-G şeklinde oluşturulmuştur. Ortalama rüzgar hızı 2.0 m/s olarak ölçülmüştür. Kanyon boyunca rüzgarı engelleyici veya yönünü değiştirici unsurlar olarak sürekli park halinde olan araçlar ve *Malus purpurea* 'Eleyi' türü vejetasyon dokusu incelenmiştir. Bina aralıkları 5 m'dir ve kanyon boyunca toplamda 5 kez bölünmüştür. Bina yönlenmeleri K-G şeklinde yerleştirilmiştir. Bina yükseklikleri 9- 21 m arasında değişmektedir. GGO ortalaması 1'e yakın sonuç vermiştir (Şekil 4.59).

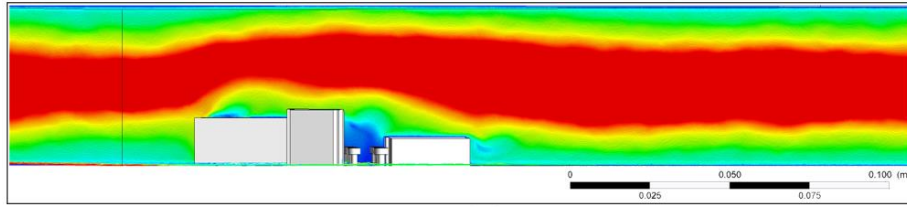


Şekil 4.59. Yaşam konforunu engelleyen bölge ağaçlı sokak alan tanımı

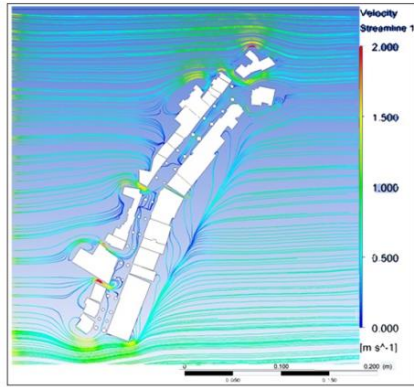
Kanyon içerisindeki rüzgar hızı yapılardan dolayı düşüşe uğramakta ağaç ve araç gibi engellerden dolayı ise durma noktasına gelmektedir. GD'dan gelen rüzgar sınırlı sayıda boşluktan kanyon içerisine girmekte ancak kanyon içerisindeki unsurlara çarpan rüzgarın hareket alanı da kısıtlı olması nedeniyle durmaktadır. Saha çalışması sırasında kanyon boyunca sürekli park halinde araçların var olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden hem araçlı hemde araçsız simülasyonlar yapılmıştır. Sonuçlar araçların blok halinde olması nedeniyle rüzgarın akışına daha fazla engel olduğunu göstermiştir (Şekil 4.60. ve Şekil 4.61).



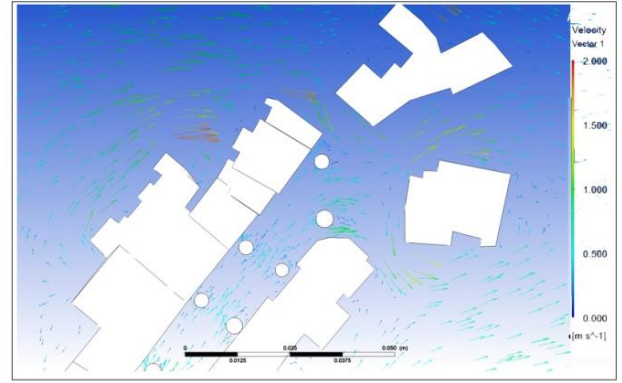
(a)



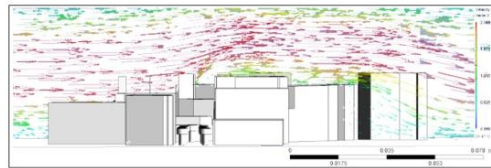
(b)



(c)



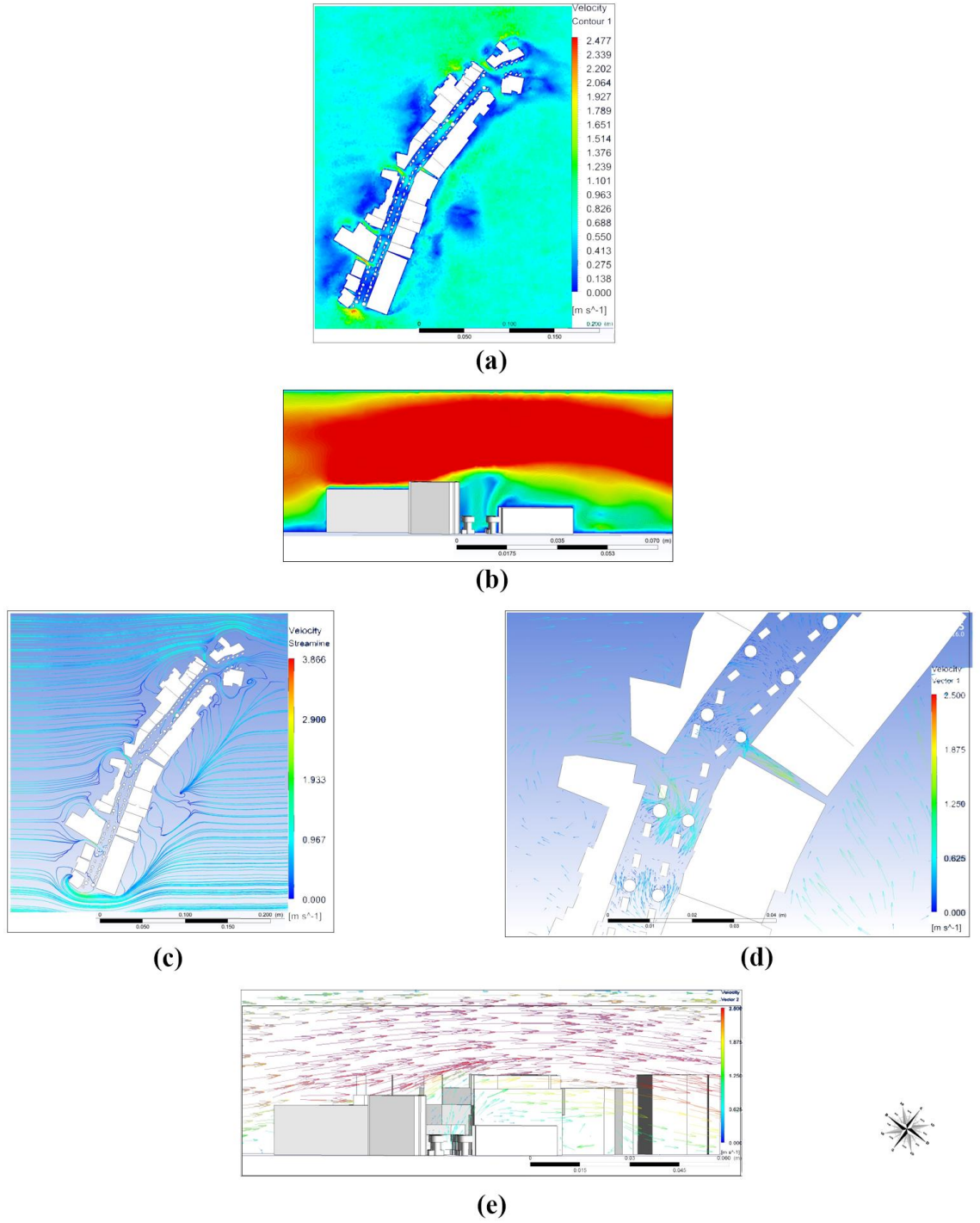
(d)



(e)



Şekil 4.60. (a) sokak kanyonunda rüzgarın dağılımı plan ölçeğinde, (b) sokak kesitinde rüzgarın yayılışı (c) ve (d) rüzgarın planda vektörel dağılımı (e) sokak kesitinde rüzgarın vektörel dağılımı

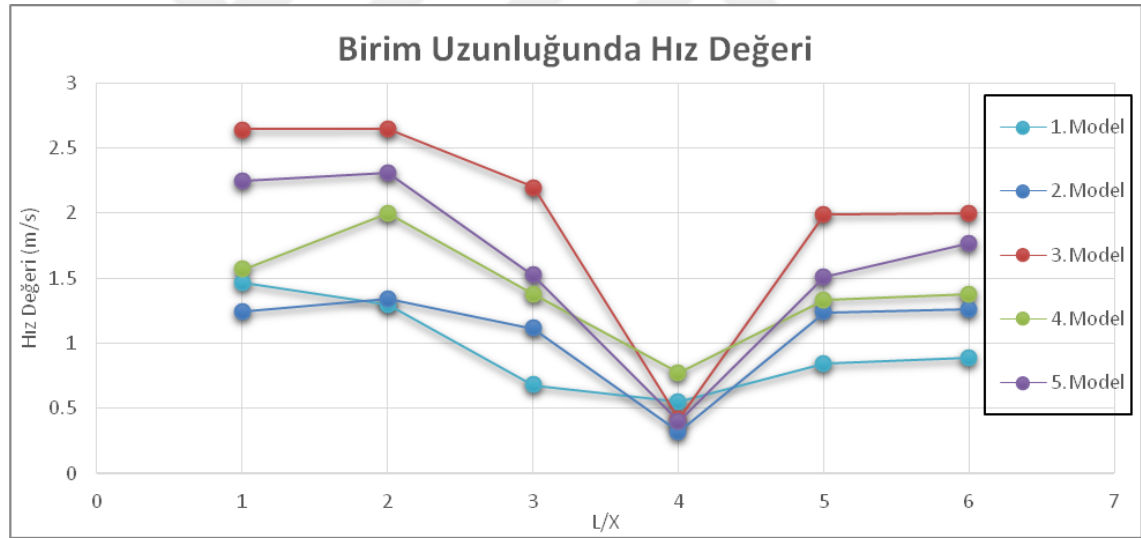


Şekil 4.61. (a) sokak kanyonunda rüzgarın dağılımı plan ölçeğinde, (b) sokak kesitinde rüzgarın yayılışı (c) ve (d) rüzgarın planda vektörel dağılımı (e) sokak kesitinde rüzgarın vektörel dağılımı

4.4.4. Yaşam Konforunu Destekleyen ve Engelleyen Bölgede Bitki Örtüsü Değişkeninin Kirlilik Dağılımına Etkisinin Değerlendirilmesi

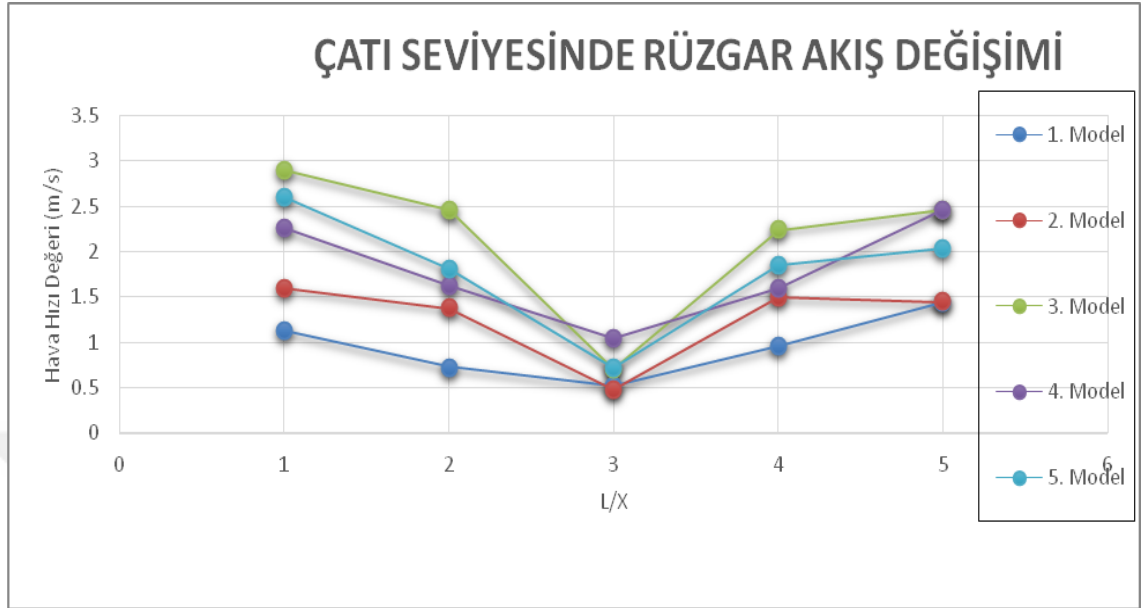
Belirli aralıklarla her kanyon geometrisi simülasyonu için nokta değerleri incelenmiştir. Kanyonların hepsinde rüzgar hızının en aza düştüğü veya durma noktasına geldiği saptanmıştır (Çizelge 4.4). Model yaşam konforunu destekleyen bitkisiz bölge, 2. model yaşam konforunu destekleyen bitkili bölge, 3. model yaşam konforunu engelleyen bitkili bölge, 4. bölge yaşam konforunu engelleyen bitkili bölge, 5. bölge yaşam konforunu engelleyen bitkisiz bölgeye araç dahil edilmiş simülasyon sonuçlarına karşılık gelmektedir.

Çizelge 4.4. Birim uzunluğunda hız değeri

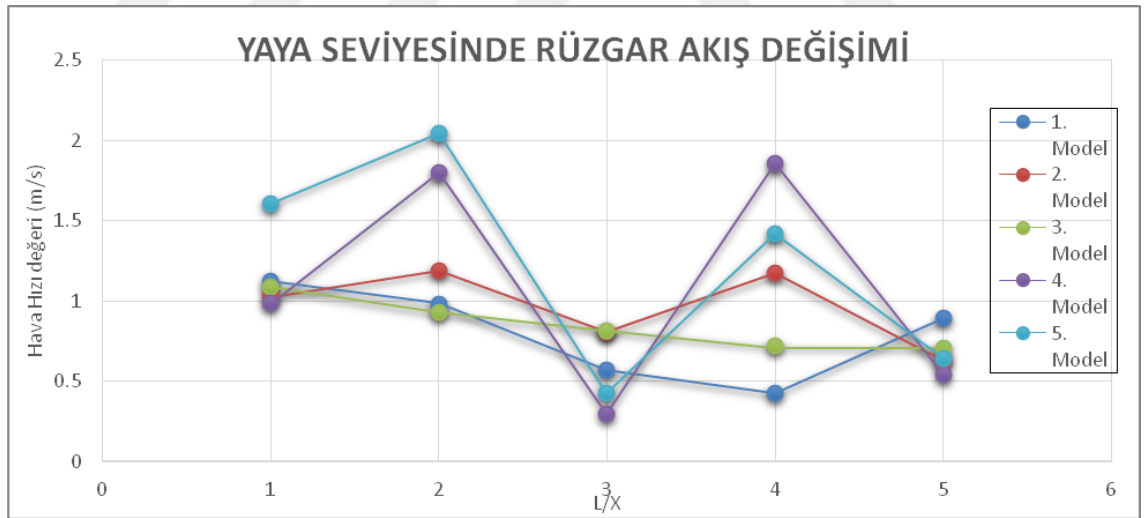


Kanyonlarda çatı seviyesinde ve yaya seviyesinde rüzgar hızı değerleri alınmıştır. Çatı seviyesindeki akışın yaya seviyesine göre daha verimli olduğu incelenmiştir (Çizelge 4.4). Kanyon içerisinde yaya seviyesinde rüzgar hızı ölçümlerine bakıldığında 1 m/s geçmezken çatı seviyesinden gelen rüzgar hızı 1 m/s ve 2.5 m/s arasında değişmektedir. Yaşam konforunu engelleyen bölge ağaçlı sokak kanyonunda rüzgar hızı daha az devingenlik göstermektedir. İdeal bölge ağaçsız sokak kanyonunda da rüzgar hızı çok fazla değişkenlik göstermemekte stabil devam etmektedir (Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6).

Çizelge 4.5. Çatı seviyesinde rüzgar hız ölçümü



Çizelge 4.6. Yaya seviyesinde rüzgar hız ölçümü



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Hava kirliliği ve konut dokusu arasındaki ilişkinin analiz edildiği çalışma 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Hava kirliliği emisyon değerleri, coğrafi faktörler ve fiziki faktörler açısından incelenmiş ve tahmini mekansal sentez haritası üretilmiştir. Daha sonra 325 noktadan alınan GGO ölçümleri ile konut dokusu analiz edilmiştir. Son aşamada ise konut dokusu ve hava kirliliği sentez haritası üretilerek yaşam konforunu destekleyen ve engelleyen bölgelerde rüzgar akışı analiz edilmiştir.

Coğrafi faktörler (rüzgar hızı, yükseklik, sıcaklık, basınç), fiziki faktörler (nüfus yoğunluğu, doğalgaz tüketim verileri, kömür tüketim verileri) ve emisyon değerleri (PM₁₀, SO₂, NO, NO_x, NO₂, O₃, CO) 14 parametre üzerinde mekansal tahmin analizi yapılmıştır. Kent merkezi tarihi çekirdek ve çevresinde emisyon değerleri yüksek çıkmıştır. Coğrafi faktörler açısından incelendiğinde kent merkezinin kentin diğer bölgelerine göre daha çukurda kalması ve yüksek basınç şartları dolayısıyla kirlilik potansiyelinin yüksek olduğunu göstermiştir. Kentin kuzey batısında sitelerin yer aldığı yerleşim alanı (Kurtuluş Mahallesi – Hilalkent) ideal kanyon geometrisine sahip olmasına rağmen kirli hava hüküm sürmektedir. Bu durum yükseltinin bu bölgede düşük olması nedeniyle oluşan ve dağılamayan kirli hava ile açıklanabilir. Hava kirliliği tahmini genel sonuçları önceki çalışmalara paralel olarak nüfus yoğunluğunun ve yapılaşmanın fazla olduğu kent merkezinde kirli havanın daha yoğun olduğunu göstermiştir (Stone 2008; Bechle *et al.* 2010; Clark 2011). Bu alanlarda benzer yüksekliğe sahip binalar kirlenici maddenin dağılımını önemli ölçüde kısıtlamaktadır (Li *et al.* 2018). Literatürde temiz hava kalitesine sahip yerleşim alanları için kentsel süreklilik tavsiye edilmekte, süreksizliğin ve uydu kentleşmenin dezavantajlı durum olduğu belirtilmektedir (Rodriguez 2016; Lu and Liu 2018). Çalışma çıktıları uydukent niteliği taşıyan ve kent merkezinden kopuk olan Alparslan Mahallesi, Ahmet Yesevi Mahallesi, Abdülhamit Mahallesinde kirli hava birikiminin kent merkezinden daha az olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni olarak Şekil 4.13.'de görüldüğü üzere rüzgar yönüne paralel sokak yönlenmeleri ve ideal kanyon geometrisinin sağlanmasının etkili olduğu tahmin edilmektedir.

Konut dokusu özelliklerini tespit etmek üzere şansa bağlı olarak ölçüm yapılan noktalarda GGO değerleri ArcGIS 10.3 programına girdi olarak eklenmiş ve mekansal tahmin haritası üretilmiştir. Üretilen harita kirlilik dağılımı tahmin haritasıyla birlikte değerlendirilerek konut dokusuyla ilgili sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre;

Site tipi yapılaşmanın olduğu (Hüseyin Avni Ulaş Mahallesi, Osmangazi Mahallesi Adnan Menderes Mahallesi, Solakzade Mahallesi, Hacı Salih Efendi Mahallesi, Abdülhamit Mahallesi, Alparslan Mahallesi, Şükrüpaşa Mahallesi, Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesi) a , b, c, d, e bölgelerinde de kent geometrisi değerleri benzer çıkmıştır. Sokak yönlenmelerinin bu bölgelerde 45° olduğu farklı derecelere sahip sokak kanyonlarının olmadığı incelenmiştir. Rüzgar akışına imkan veren yerleşim planlamasından dolayı bu bölgelerde kirleticinin daha az yoğunlukta olduğu incelenmiştir. Sokak yönlenmeleriyle ilişki olarak rüzgar akışına imkan veren yerleşim planlaması olduğu incelenmiştir. Literatürde de benzer şekilde rüzgar açısının sokaka paralel veya 45° olması durumunda kirletici seyreltilmesine katkı sunduğu incelenmiştir (Hang *et al.* 2008). GGO bu bölgelerde 0.4 – 0.8 aralığında değişmektedir. Bu durum görünür gökyüzünün olması dolayısıyla ideal kanyon geometrisine sahip olduğunu gösterir Mehmet Akif Ersoy Mahallesi, Solakzade Mahallesi , Hacı Ahmet Baba Mahallesi, Yukarıköş Mahallesi'nde (B tipi bölge) diğer bölgelere göre daha fazla kirlilik gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak kömür tükeminin bölgede daha fazla olması önemli bir faktör olarak ön plana çıkmaktadır (Taseiko, 2009; Kwak 2013; Hang *et al.* 2012). Site tipi yapılaşmanın diğer bir örneği olarak Şükrüpaşa Mahallesi kirlilik yoğunluğunun fazla çıktığı bir diğer bölgedir. Bu bölgede kömür tüketimi nedeniyle PM₁₀ ve SO₂ yoğunluğu fazladır. Sokak yönlenmelerinin hakim rüzgar yönüne paralel olması ve ideal GGO nedeniyle kirleticinin seyreltilmesi beklenmektedir ancak rakımın kirletici dağılımındaki rolü baskın gelmiştir. Kısmen çukurda kalan bölge kirletici maddenin seyreltilmesine imkan vermemektedir.

Apartman tipi yapılaşmanın olduğu a (Muratpaşa Mahallesi), b (Yunusemre Mahallesi), c (Şükrüpaşa Mahallesi) bölgelerinde kanyon geometrisi sonuçları 0'a yakın çıkmıştır. Derin sokak kanyonu olarak tariflenen ve rüzgar akışının çatı seviyesinde ve

yaya seviyesinde değişkenlik gösterdiği bu durumda kirlilik seyreltmesinin az olmasıyla sonuçlanmaktadır (Hang *et al.* 2012). Kirlilik ve GGO oranlarının mekansal sentez haritası incelendiğinde ise kentin diğer bölgelerine göre daha yoğun kirlilik oranı söz konusudur. Rüzgarın yönünün kirlilik dağılımında en önemli faktör olduğu göz önünde bulundurulduğunda; sokak yönlenmelerinin birden fazla açığa sahip olması sonuca etki eden önemli değişkenler olarak saptanmıştır. Rüzgara dik açılarda yerleştirilmiş binalar ve sokak kanyonları, rüzgarın kanyon içerisinde dolaşmasına engel olmaktadır (Schatzmann *et al.* 2000; Zhang *et al.* 2015). Ayrıca heterojen konut dokusunun rüzgarın akışını olumlu yönde etkilemesi dolayısıyla kirlilik seyreltilmesini artırması kent merkezi için geçerli olmamıştır. Farklı bina yüksekliklerine sahip yerleşim alanında sokak yönlenmelerinin kirlilik dağılımında birincil faktör olarak ön plana çıktığı incelenmiştir (Nosek, 2018). Muratpaşa Mahallesiinde yükseltinin az olması ve yerleşim alanının çukurda kalıyor olması kirlilik dağılımına engel olmaktadır.

Müstakil tip yapılaşmanın olduğu a (Ahmet Yesevi Mahallesi, Bilal Habeşi Mahallesi, Alparslan Mahallesi), b (Hüseyin Avni Ulaş Mahallesi), c (Osmangazi Mahallesi), d (Şükrüpaşa Mahallesi) bölgelerinde kanyon geometrisi sonuçları 1'e yaklaşık olarak çıkmıştır. GGO ve kirlilik tahmin haritaları sentez sonuçlarına bakıldığında kirlilik yoğunluğunun az oranda dağılım gösterdiği bölgeler olarak tespit edilmiştir. Sokak yönlenmelerinin bu bölgelerde rüzgar yönüne paralel olması kirlilik yoğunluğunun az olmasında etkili olmuştur. Ancak d bölgesi (Şükrüpaşa Mahallesi) kömür tüketim miktarının fazla olması ve sokak yönlenmelerinde farklı açılara sahip olması, diğer müstakil tip yapılaşmalara göre yükselti açısından çukurda kalıyor olması nedeniyle kirlilik oranı daha yüksek çıkmıştır (Neofytou *et al.* 2006; Silva 2016).

Gecekondu tipi yapılaşmanın olduğu a (Kurtuluş Mahallesi) bölgesinde kanyon geometrisi 1'e yaklaşık olarak çıkmıştır. Bu durum derin bir sokak kanyonunun olmaması nedeniyle rüzgarın kirletici maddeyi seyreltme etkisini güçlendirmektedir. Sokak yönlenmeleri eğime uygun olarak K-G yönünde olduğu incelenmiştir. Kömür tüketimi müstakil tip yapılaşmanın olduğu bölgeye göre nispeten daha yüksektir. Bu nedenle kirlilik yoğunluğunun müstakil tip yapılaşmaya göre daha fazla olduğu

incelenmiştir. Kanyon geometrisi burada birincil değişken olarak gözlenmiş ve kirlilik yoğunluğunu olumlu yönde etkilemiştir. Ayrıca yerleşim alanında yükselti 1850 m - 1900 m arasında değişmekte ve kentin diğer yerleşim alanlarına göre daha yüksekte kaldığı için kirlilik birikmesine engel olmaktadır.

Kanyon geometrisi ve kirlilik dağılımına göre mekansal tahmin haritaları üretildikten sonra yaşam konforunu destekleyen ve yaşam konforunu engelleyen bölgelerde rastgele seçilen ağaçlı ve ağaçsız noktalarda sayısal akışkanlar dinamiği modeliyle rüzgarın akışı modellenmiştir. Sonuçlara göre;

İdeal bölgede ağaçsız sokak kanyonunda GGO 0'a yakın sonuç vermektedir. Sokak uzunluğu ise 360 m, bina aralıkları 10m'dir. Sokak yönlenmesinin güneybatıya doğru olması ve bina aralarındaki boşluğun fazla olmasının rüzgarın kanyon içerisinde daha rahat hareket etmesinde etkili olduğu tahmin edilmektedir. Çatı seviyesine oranla yaya seviyesi rüzgar akışında %23 düşüş incelenmiştir. Bu durumda binalar arası boşluk nedeniyle yaya seviyesinde de rüzgarın hareket ettiği ve girdap oluşmasına neden olmadığı incelenmiştir. Literatürde de benzer şekilde çatı ve yaya seviyesinde değişen rüzgar koşullarının girdaplar oluşturabileceğine dikkat çekilmiştir (Theurer 1999). Kanyon içerisinde girdap oluşumu ise kirli havanın önemli bir tetikleyicisi olarak bilinmektedir (Vardoulakis *et al.* 2003). Yaşam konforunu destekleyen bölge rüzgarda akışı meydana gelmekte ve girdap oluşumu söz konusu olmamaktadır.

Yaşam konforunu destekleyen ağaçlı sokak kanyonunda bina yükseklikleri 6-9 m aralığında değişmekte ve sokak genişliği 20 m'dir. GGO değeri ise 1'e yakın sonuç vermektedir. Sokak uzunluğu 350 m'dir. Sokak yönlenmeleri KB yönünde olmasına rağmen binalar arasında ortalama 15 m kadar boşluk bulunmaktadır. Rüzgar akışının sokak yönlenmelerinden, bina aralıklarından ve az katlı bina yüksekliğinden dolayı hava kirlilemelerinin uzaklaştırılmasında faydalı olduğu incelenmiştir. Ayrıca ağaçların rüzgarın akışına etki ederek kavitasyon (akışın durma noktasına gelmesi) oluşmasına engel olduğu incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda vejetasyon bariyeri olarak adlandırılan çalı grubunun rüzgar akışını desteklediği incelenmiştir. Örnek alan içinde vejetasyonun

bu bölgede yerden dallanan, kısa boylu bodur bitkiler olarak seçilmesi nedeniyle rüzgara engel olmadığı dikkati çekmektedir (Wania *et al.* 2012; Vos *et al.* 2013; Weber *et al.* 2014; Gallagher *et al.* 2015; Janhall 2015). Rüzgar akış hızında çatı seviyesine göre yaya seviyesinde %25 düşüş olduğu incelenmiştir. Kanyonda ağaçların varlığı düşüş oranında etkili olduğu tahmin edilmektedir. Ancak bu bölgede kirlilik dağılımının az olması kanyon karakteristiklerinin kirletici dağılımında daha önemli olduğunu göstermektedir. Normal kayma akışında rüzgarın yön değiştirmesi söz konusu değilken ağaçlar akışta pürüzlülük etkisi oluşturarak rüzgara yön vermektedir. Bu durum kirletici seyreltmesine de önemli katkılar sunmaktadır.

Yaşam konforunu engelleyen bölge ağaçsız sokak kanyonu karakteristikleri incelenmiştir. Bina yükseklikleri 9 m – 18 m arasında değişmekte yol genişliği ise 7 m – 15 m arasında değişmektedir. Binalar arası boşluklara rüzgarın geliş yönünde yer verilmemiştir. Sokak uzunluğu 220 m, yönlenmesi KB'dır. Bina yükseklikleri açısından heterojen yapıya sahip sokak kanyonunda rüzgar akışında önemli ölçüde farklılıkların meydana gelmekte, kirletici seyreltilmesine katkı sunmaktadır (Neophytou 2014; Karra *et al.* 2017). Ancak yaşam konforunu engelleyen bölgede kirletici dağılımı söz konusu değildir. Bu durum rüzgarın geliş yönünde bina yüksekliklerinin 18 m'yi bulması ile açıklanabilir. Sokak kanyonu rüzgar akışında çatı seviyesine göre yaya seviyesinde %29 düşüş incelenmiştir. Gelen rüzgar binaya çarpmakta ve kanyon içerisine girmesine nispeten engel olmaktadır. Binalar arası boşluk olmaması nedeniyle kanyon içerisinde rüzgar hareketi kısıtlanmaktadır.

Yaşam konforunu engelleyen bölgede ağaçlı sokak kanyonu incelendiğinde GGO oranı 1'e yakın sonuç vermektedir. Bina yükseklikleri 9 m – 21 m arasında değişmektedir. Binalar arası boşluklar 8 m – 10 m aralığındaki sokak kesişimlerinden ibarettir. Sokak genişliği 15 m, sokak yönlenmesi K'dir. Sokak uzunluğu 300 m'dir. Kaldırımlarda tek tip ağaç kullanılmıştır (Malus purpurea '*Eleyi*'). Sokak kanyonunda park halindeki araçların da rüzgarı engelleyici bir faktör olabileceği göz önünde bulundurularak araçlı ve araçsız simülasyonlar da yapılmıştır. Sonuçlar araçların rüzgarın kavıtasyonu artırdığını göstermektedir. Rüzgarın kanyon içerisine sınırlı olarak girdiği durumlarda

ağaç ve araçların varlığı hareketi engelleyerek kirletici maddelerinde dağılmasında engel oluşturmaktadır (Buccolieri *et al.* 2011; Salmond 2013; Setala *et al.* 2013; Al-Dabbous and Kumar 2014; Jim *et al.* 2014). Araç dahil edilmeden üretilen simülasyonda rüzgar akışı çatı seviyesine göre yaya seviyesinde %57 düşmekte, araç dahil edilen simülasyonda ise bu oran %61'i bulmaktadır.

5.1. Öneriler

Hava kirliliği sanayileşme, nüfus artışı, hızlı kentleşme, tükenbilir doğal kaynakların kullanımı sonucu sera gazının oluşumu, fosil yakıtların kullanılması ve atmosferde kirletici gazların birikmesi dolayısıyla günümüzün en büyük problemlerinden biri haline almıştır. Hava kirliliği sorununa uluslararası ve ulusal düzeyde birçok bilimsel çalışma yürütülmektedir.

Çalışma kapsamında hava kirliliğinin emisyon değerleri ve coğrafi faktörlerle ilişkilendirilmesinin yanı sıra kent geometrisi ve hava kirliliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu bağlamda kentin kirletici faktörler açısından mekansal hava kirliliği tahmin haritası üretilmiştir. Daha sonra kent geometrisini hesaplamak üzere şansa bağlı olarak seçilen 325 noktadan ölçüm alınmıştır. Alınan ölçümler doğrultusunda mekansal tahmin haritası üretilmiştir. Kirlilik ve kent geometrisi haritasından elde edilen sentez sonucuna göre kent merkezi hava kirliliği açısından yoğun alan olarak tespit edilmiştir. Kent formu coğrafi değişkenlerle özellikle yükselti faktörü ile birlikte düşünülmelidir. Konut dokusu analizlerinde ideal sokak geometrisine sahip olmasına rağmen yükselti açısından çukurda kalıyor olması kirlilik oranına etki etmektedir. Ayrıca fiziksel değişkenlerde kömür tüketimi de kirlilik yoğunluğu açısından önemli değişken olarak bulunmuştur.

Konut dokusu perspektifinden incelendiğinde nispeten derin sokak kanyonları içeren apartman tipi yapılaşmanın olduğu bölgelerde kirlilik oranı yüksek çıkarken site tipi yapılaşmada tüm alanlarda kirlilik oranları bazı istisnalar hariç benzer sonuç vermektedir. Şükrüpaşa Mahallesiinde yükselti ve yakıt tüketimine, Adnan Menderes

Mahallesi, Mehmet Akif Ersoy Mahallesi ve Solakzade mahallelerinde yakıt tüketimine ve kanyon geometrisine bağılı olarak kirlilik yoğunluğu yüksek çıkmıştır. Geniş kanyon formunu temsil eden müstakil tip yapılaşma gerek coğrafi faktörler gerekse sokak geometrisi açısından kirlilik yoğunluğunun az olduğu bölgeler olarak çıkmıştır. Gecekondu tipi yapılaşma ise yakıt tüketimine bağılı olarak müstakil tip yapılaşmaya orna nispeten daha düşük hava kalitesine sahip olduğu incelenmiştir. Sonuçlar yakıt tüketiminin sokak geometrisinden daha baskın karakterde olduğunu göstermektedir. Konut dokusu bazında incelendiğinde ise hava kalitesi perspektifinden planlı yapılaşma gerektirmesi söz konusu olduğu için site ve müstakil tip konut dokusunun apartman tipi konut dokusundan daha verimli olduğu bulunmuştur.

GGO değerleri ve kirlilik haritasından elde edilen sentez haritasında kirlilik açısından yaşam konforunu engelleyen ve yaşam konforunu destekleyen bölge ayırımına gidilmiştir. Bu alanlarda rastgele seçilen ağaçlı ve ağaçsız sokaklar için rüzgar akışı sayısal akışkanlar dinamiği modeli ile simüle edilmiştir.

Rüzgarın geliş yönü ve hızı: Rüzgar akışkanının kanyon içerisinde hareketini incelemek üzere yapılan simülasyonda tanımlanan 4 alan için 1,2 m/s ve 2 m/s arasında değer verilmiştir. Yaşam konforunu destekleyen bölgede rüzgar akışkanı rahatlıkla hareket ederken yaşam konforunu engelleyen bölgede rüzgar durma noktasına kadar gelmektedir. Ayrıca çatı seviyesinde ve yaya seviyesinde rüzgar akış oranları incelendiğinde yaşam konforunu destekleyen bölgede rüzgar hızı değişim oranları daha azdır. Bu durum yapılaşmanın kanyon içerisinde girdap oluşumuna izin vermediğinin göstergesidir. Temiz hava kalitesi için sokak yönlendirmelerinin GD şeklinde planlanması önerilmektedir.

Bina yükseklikleri: Literatürde farklı bina yüksekliklerine sahip sokak kanyonu rüzgarın hareketi için ideal olarak gösterilmektedir. Yaşam konforunu engelleyen bölgede bina yükseklikleri arasında heterojenlik söz konusu olmasına rağmen rüzgarın geliş yönüne set oluşturan binalar eşit ve yüksek katlıdır. Bu durumda rüzgarın kanyon içerisine girmesine engel olarak kirliletiçi seyrettilmesini zayıflatmaktadır.

Binalar arası mesafe: Ayrık nizam (yaşam konforunu destekleyen) ve bitişik nizam (yaşam konforunu engelleyen) özelliği gösteren yapılaşmalarda binalar arası mesafe rüzgarın kanyon içerisine alınmasını belirleyen önemli bir parametredir. Nitekim yaşam konforunu destekleyen bölgede binalar arası mesafe 10m – 15m arasında süreklilik gösterirken yaşam konforunu engelleyen bölgede binalar arası mesafe yalnızca sokak kesişimleriyle kesikli olarak bulunmaktadır. Hava kalitesinin iyileştirilmesi için bina yüksekliklerini yaşam konforunu destekleyen bölgeye benzer şekilde 9 m'ye kadar olması ve daha yüksek olması durumunda binalar arası 10 m mesafe bırakılması önerilmektedir.

Çekme mesafesi: Yapı adalarında çekme mesafesi gözetilerek yapılan planda gerek sokak genişliği gerekse bitki dikimi ile ilgili kirlilik dağılımı etkilenmektedir. Yaşam konforunu destekleyen bölgede çekme mesafesi gözetilmiş, bitki dikimi ön bahçe mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Yaşam konforunu engelleyen bölgede ise konut altı ticaret alan kullanımı özelliğine sahip sokakta çekme mesafesi uygulanmamıştır. Kaldırımlarda bitki dikim işlemi gerçekleştirilmiştir. Yol genişliğine sınır getirmediği ve rüzgarın kanyon içerisinde hareketini sınırlandırmadığı için çekme mesafesi kirlletici seyreltilmesinde önemli bulunmuştur.

Sokak uzunlukları: Tanımlanan 4 sokak kanyonunda sokak uzunlukları 250m – 300m arasında değişmektedir. Yaşam konforunu engelleyen bölgede sokak yapı adalarıyla sınırlı sayıda kesintiye uğradığı için rüzgar hareketini kısıtlamaktadır. Yaşam konforunu destekleyen bölgede ise binalar arası mesafe olması uzunluk faktörünü telafi etmektedir. 300' ye kadar olan sokakların sokak kesişimlerinden ziyade binalar arası mesafelerle bölünmesi önerilmektedir.

Bitki varlığı: Yaşam konforunu destekleyen ağaçlı sokakta ön bahçede karma bitki kullanımı olduğu incelenmiştir. Kaldırımlarda ise çalı grubu ağırlıklı bir kullanım söz konusudur. Bitki varlığı kanyon içerisinde hareket eden rüzgara yön vererek kirlilik seyrelmesine katkı sunmaktadır. Ayrıca literatür çalışmalarında ağaçlar kanyonlarda blok halinde simüle edilmişken çalışma kapsamında tüm girdiler gerçeğe en yakın

şekilde form ve biçim kaygısıyla simüle edilmiştir. Bu durum yaşam konforunu destekleyen sokakta ağaçların rüzgar akışını kolaylaştırmasının bir nedeni olarak gösterilebilir. Söz konusu sokakta bitkiler bazı durumlarda rüzgarın geliş yönünde binaların önünde değil arkasında konumlandırılmıştır. Bu durum kavitasyona neden olduğu için bitkilerin rüzgarın geliş yönüne göre önde ve rüzgara yön verecek şekilde dikim planlaması yapılmasını gerekli kılmaktadır. Yaşam konforunu engelleyen sokakta ise kaldırımında tek tür ağaç kullanılmıştır. Binalar nedeniyle rüzgarın kanyon içerisine girememesi nedeniyle ağaçlarda düşük hızdaki rüzgarı durma noktasına getirmektedir. Ağaçların rüzgarın geliş yönünde kanyon içerisine rüzgarı yönlendirecek şekilde dikilmesi rüzgarın hareketini artırmak için önemlidir.

Araç varlığı: Yaşam konforunu engelleyen bölgede sürekli park halinde duran araçların varlığı incelenmiştir simülasyon yapılmıştır. Araçların blok etkisi yaratmasından dolayı rüzgarın hareketini kısıtladığı incelenmiştir

Yaşam konforunu engelleyen bölgelerde bitki dikimi tasarım standartları geliştirilmelidir. Derin sokak kanyonlarında boylu bitki kullanımı rüzgarın akışına engel olmaktadır. Bu durumda şeffaf, geçirgen özellikte süs bitkilerinin kullanımı uygun olacaktır. Ancak caddelerde çalı kullanımı peyzaj plantasyon tekniği açısından uygun bulunmamaktadır. Bu nedenle kent merkezinde bazı caddelerin trafiğe kapatılarak yaya yolu statüsü kazandırılması önerilmektedir. Peyzaj Mimarlığı meslek disiplininden uzmanların bitki dikim senaryoları geliştirmesi hava kalitesinin iyileştirilmesi açısından önemli olacaktır.

Hava kirliliği azaltımında önemli bir faktör olan yeşil altyapı sistemleri geliştirilmelidir. Yağmur suyu toplama, yeşil çatı ve yeşil duvar uygulamaları, büyük kentsel açık yeşil alan planlamaları için kent merkezi için senaryolar geliştirilmelidir. Peyzaj Mimarlığı ve Şehir Planlama meslek disiplinlerinden uzmanların bu konuda ortak çalışmalar yürütmesi önem arz etmektedir.

Rüzgarı kanyon içerisine alarak dolaşımına imkan veren farklı çatı tipi uygulamaları geliştirilmelidir. Ayrıca binalarda iklime uygun konumlandırma olmaması yakıt tüketimini artırmaktadır. Enerji verimliliğine odaklanan kentsel tasarım senaryoları geliştirilmesi ve iklim plan kararlarına aktarılması hava kalitesinin iyileştirilmesi için önemli bir adım olacaktır.

Mevcut kentsel doku ve kentsel yenileme alanlarında farklı hava kalitesi senaryoları geliştirilmelidir. Mevcut alanlar dışında, kentsel dönüşüm alanları ve yeni gelişim alanlarında hava kirliliğini tetikleyici yerleşim alanları oluşturulmasından kaçınmak için sokak ve bina yönlenmeleri, coğrafi ve meteorolojik değişkenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu amaçla iklim ve öneri plan durumuna göre simülasyonlar geliştirilmesi önem arz etmektedir. Konut dokusunun kirliliğe etkisi ihmal edilmemelidir. Bu anlamda Temiz Hava Kalitesi Eylem planlarında konut dokusu başlığına yer verilmesi önem arz etmektedir .

Çalışmanın sonucu yakıt tüketiminin sokak geometrisinden daha baskın karakterde olduğunu göstermektedir. Konut dokusu ile hava kalitesi arasındaki ilişki incelendiğinde planlı yapılaşma gerektirmesi söz konusu olduğu için site ve müstakil tip konut dokusunun apartman tipi konut dokusundan daha verimli olduğu bulunmuştur. Sokak kanyonları için yapılan simülasyonlarda ise rüzgar akışı hızında çatı seviyesine göre yaya seviyesinde düşüş kaydedilmiştir. Yaşam konforunu desteleyen; ağaçsız bölgede %23, ağaçlı bölgede %25 düşüş olduğu incelenmiştir. Yaşam konforunu engelleyen; ağaçsız bölgede %29 ve ağaçlı bölgede %57 düşüş olduğu incelenmiştir. Rüzgar akışkanı kanyonun karakteristik özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Bu durum kirletici dağılımında önemli bir etkiye sahiptir. Rüzgarın geliş yönü, rüzgar hızı, bina yükseklikleri, binalar arası mesafe, sokak yönlenmesi, sokak uzunlukları, bitki durumunun önemli parametreler olduğu bulunmuştur. Erzurum kenti yeni gelişme alanları için sokak yönlenmelerinin GD, bina yüksekliklerinin rüzgarın geliş yönüne göre 9 m'de tutulması daha yüksek olması durumunda ise binalar arası mesafenin artırılması, sokak uzunluklarının 200 m ile sınırlı tutulması ancak binalar arası mesafenin olması durumunda sokak uzunluğunun da artabileceği önerilmiştir.

Bitkilendirme tasarımı olarak şeffaf, geçirgen süs bitkileri önerilmektedir. Ayrıca sokaklarda park halinde araç varlığı da blok etkisi yarattığı için rüzgarın hareketine engel olmakta ve kirletici dağılımını güçlendirmektedir. Bu nedenle sokakların araçlardan arındırılması ve kapalı otopark önerisi geliştirilmelidir.

Hava kirliliği probleminin iyileştirilmesi için Mimarlık, Peyzaj Mimarlığı, Şehir ve Bölge Planlama, Coğrafya, Meteoroloji alanından uzman kişilerin işbirliği sağlayarak multidisipliner çalışmalar ve ortak senaryolar geliştirmesi gereklidir. Geleceğe yönelik simülasyonlar üzerinde durulması sonradan ortaya çıkacak problemlerin en aza indirgenmesi için önemlidir.

KAYNAKÇA

- Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., ... Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment*, 162, 71–86. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014>
- Agren, C., 1991. EMEP Report, MCS-W 1/91 Norway
- Akalin, M. (1980). Kentsel Dönüşümün Karanlık Yüzü : Soylulaştırma , Yerinden Edilme ve Mekânsal Dışlanma The Dark Side Of Urban Renewal : Gentrification , Displacement , Spatial Exclusion, 287–320.
- Akbari H. Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. *Environ Pollut* 2002;116:119e26.
- Al-Dabbous, A.N., Kumar, P., 2014. The influence of roadside vegetation barriers on airborne nanoparticles and pedestrians exposure under varying wind conditions. *Atmos. Environ.* 90, 113e124.
- Amorim, J. H., Rodrigues, V., Tavares, R., Valente, J., & Borrego, C. (2013). CFD modelling of the aerodynamic effect of trees on urban air pollution dispersion. *Science of the Total Environment*, 461–462, 541–551. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.031>
- Anthony, L., & Cox, T. (2018). Socioeconomic and particulate air pollution correlates of heart disease risk. *Environmental Research*, 167(April), 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.07.023>
- Arslan, O., & Karademir, A. (2013). SO 2 VE PM 10 HAVA KİRLİLİĞİ PARAMETRELERİNİN CBS İLE KONUMSAL ANALİZİ: KOCAELİ ÖRNEĞİ.
- Article, R. (2017). Soğuk İklim Duyarlı Kentsel Tasarım Yaklaşımları Urban Design Approaches for Cold-Climate Cities, 7(2), 269–278.
- Aru, K.A. (1998). Türk kenti. Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul, 151-153
- Baik, J. J., Kang, Y. S., & Kim, J. J. (2007). Modeling reactive pollutant dispersion in an urban street canyon. *Atmospheric Environment*, 41(5), 934–949. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.09.018>
- Bakirci, K. (2006). Erzurum İli Enerji Çalışmaları İçin İklim ve Meteoroloji Verileri. Başar, P., Okyay, P., Ergin, F., Coşan, S., Yıldız, A. (2005). Aydın İli Kent Merkezinde Hava Kirliliği / 1997-2004*. *ADÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 6(3), 11–15. Retrieved from <http://adudspace.adu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11607/2130/11-15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Baxter, R., Hastings, N., Law, a., & Glass, E. J. . (2008). [No Title]. *Animal Genetics*, 39(5), 561–563.
- Bärring, L., Mattsson, J., & Lindqvist, S. (1985). Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö, Sweden. *Journal of Climatology*, 5(4), 433–444
- Balczo, M., Gromke, C., Ruck, B., 2009. Numerical modeling of flow and pollutant dispersion in street canyons with tree planting. *Meteorol. Z.* 18, 197e206.
- Balogun, A. A., Tomlin, A. S., Wood, C. R., Barlow, J. F., Belcher, S. E., Smalley, R. J., Lingard, J. J., Arnold, S. J., Dobre, A., Robins, A. G., Martin, D., Shallcross,

- D. E., 2010. In-street wind direction variability in the vicinity of a busy intersection in central London. *Boundary-Layer Meteorology* 136, 489-513.
- International Journal of Climatology 25(3), 405-418
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G., 2000. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Glob. Change Biol.* 6, 995–1003. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00376.x>
- Bechle MJ, Millet DB and Marshall JD (2011) Effects of income and urban form on urban NO₂: Global evidence from satellites. *Environmental Science & Technology* 45: 4914–4919.
- Bereitschaft, B., & Debbage, K. (2013). Urban Form, Air Pollution, and CO₂ Emissions in Large U.S. Metropolitan Areas. *The Professional Geographer*, 65(4), 612–635. <https://doi.org/10.1080/00330124.2013.799991>
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., GhaffarianHoseini, A., 2014. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Appl. Energy* 115, 411e428
- Bottyan, Z., A. Kircsi, Szegedi, S. and Unger, J. (2005) The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary.
- Bolund, P., Hunhammar, S., 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecol. Econ.*, 293–301.
- Buccolieri, R., Jeanjean, A. P. R., Gatto, E., & Leigh, R. J. (2018). The impact of trees on street ventilation, NO_x and PM_{2.5} concentrations across heights in Marylebone Rd street canyon, central London. *Sustainable Cities and Society*, 41(x), 227–241. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.030>
- Buccolieri, R., Gromke, C., Di Sabatino, S., Ruck, B., 2009. Aerodynamic effects of trees on pollutant concentration in street canyons. *Sci. Total Environ.* 407, 5247e5256.
- Buccolieri, R., Salim, S.M., Leo, L.S., Di Sabatino, S., Chan, A., Ielpo, P., de Gennaro, G., Gromke, C., 2011. Analysis of local scale tree-atmosphere interaction on pollutant concentration in idealized street canyons and application to a real urban junction. *Atmos. Environ.* 45, 1702e1713.
- Buccolieri, R., Salizzoni, P., Soulhac, L., Garbero, V., Di Sabatino, S., 2015. The breathability of compact cities. *Urban Clim.* 13, 73e93.
- Canan, F. (2017). Kent Geometrisine Bağlı Olarak Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi: Konya Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 69–80. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.357202>
- Carvalho, D., Martins, H., Marta-almeida, M., Rocha, A., & Borrego, C. (2017). Urban Climate Urban resilience to future urban heat waves under a climate change scenario : A case study for Porto urban area (Portugal). *Urban Climate*, 19, 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.11.005>
- Cavkaytar, Ö., Uysal, S. Ö., & Şekerel, B.E. (2013). Türkiye’de Hava Kirliliğinden Kaynaklanan Sağlık Sorunları. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 2, 105-111
- Chen, L., Liu, C., Zou, R., Yang, M., & Zhang, Z. (2016). Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment. *Environmental Pollution*, 208, 198–208. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.006>

- Cho, H. S., & Choi, M. J. (2014). Effects of compact Urban development on air pollution: Empirical evidence from Korea. *Sustainability (Switzerland)*, 6(9), 5968–5982. <https://doi.org/10.3390/su6095968>
- Clark, L. P., Millet, D. B., & Marshall, J. D. (2011). Air quality and urban form in U.S. urban areas: Evidence from regulatory monitors. *Environmental Science and Technology*, 45, 7028–7035
- Citation, S. (2004). *The national academies press*. <https://doi.org/10.17226/11192>
- Çobanyılmaz, P., & Yüksel, Ü. D. (2013). Kentlerin İklim Değişikliğinden Zarar Görebilirliğinin Belirlenmesi : Ankara Örneği * Determination of Vulnerability of Cities to Climate Change : The Case of Ankara, 17(3), 39–50.
- Debbage, N. (2015). Sky-View Factor Estimation : A Case Study of Athens , Sky-View Factor Estimation : A Case Study of Athens , Georgia, (June).
- Depaul, F.T., Sheih, C.M., 1986. Measurements of wind velocities in a street canyon. *Atmospheric Environment* 20, 455–459.
- Di Sabatino, S., Buccolieri, R., Pappacogli, G., Leo, L.S., 2015. The effects of trees on micrometeorology in a real street canyon: consequences for local air quality. *Int. J. Environ. Pollut.* 58, 100. <http://dx.doi.org/10.1504/IJEP.2015.076587>.
- Distribution, S., Quality, A., Depend-, E. C., Factors, G., & Zeng, M. (2008). Coğrafi Faktörlere Bağlı Olarak Erzurum Kentinde Hava Kalitesinin Zamansal v e Mekânsal Değişiminin Belirlenmesi Determination of Temporal and Spatial Distribution of Air Quality in Erzurum City Depend- ing on Geographic Factors, 9773, 51–68.
- Doğan, F., & Kitapçıoğlu, G. (2007). İzmir ilinde hava kirliliğinin yıllar itibariyle karşılaştırılması. *Ege Tıp Dergisi*, 46(3).
- Eeftens, M., Beekhuizen, J., Beelen, R., Wang, M., Vermeulen, R., Brunekreef, B., ... Hoek, G. (2013). Quantifying urban street configuration for improvements in air pollution models. *Atmospheric Environment*, 72, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.02.007>
- Elbir, T., & Kara, M. (2014). İzmir Kent Merkez İ Nde Karayolu Trafığı Nden Kaynaklanan Hava, (November).
- Eliasson, B. Offerle, C.S.B. Grimmond, S. Lindqvist, Wind fields and turbulence statistics in an urban street canyon, *Atmos. Environ.* 40 (2006) 1e16.
- Eliasson I. 1996. Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment* 30: 379–392
- Elkoca, E. (2003). Hava Kirlili ğ i ve Bitkiler Üzerindeki Etkileri, 34(4), 367–374.
- Freer-Smith, P.H., Beckett, K.P., Taylor, G., 2005. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* X *trichocarpa* ‘Beaupre’, *Pinus nigra* and *X Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environ. Pollut.* 133, 157e167
- Fu, X., Liu, J., Ban-Weiss, G. A., Zhang, J., Huang, X., Ouyang, B., ... Tao, S. (2017). Effects of canyon geometry on the distribution of traffic-related air pollution in a large urban area: Implications of a multi-canyon air pollution dispersion model. *Atmospheric Environment*, 165, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.06.031>
- Gallagher, J., Baldauf, R., Fuller, C.H., Kumar, P., Gill, L.W., McNabola, A., 2015. Passive methods for improving air quality in the built environment: a review of porous and solid barriers. *Atmos. Environ.* 120, 61e70.

- Gallagher, J., Baldauf, R., Fuller, C. H., Kumar, P., Gill, L. W., & Mcnabola, A. (2015). Passive methods for improving air quality in the built environment : A review of porous and solid barriers. *Atmospheric Environment*, *120*, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.075>
- Gong, F., Zeng, Z., Zhang, F., Li, X., & Ng, E. (n.d). Senseable City Lab ::: Massachusetts Institute of Technology This paper might be a pre-copy-editing or a post-print author-produced . pdf of an article accepted for publication . For the definitive publisher-authenticated version , please refer directly . *Building and Environment*, *134*, 155–167. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.042>
- Gromke, C., & Blocken, B. (2015). Influence of avenue-trees on air quality at the urban neighborhood scale. Part II: Traffic pollutant concentrations at pedestrian level. *Environmental Pollution*, *196*, 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.10.015>
- Gromke, C., Ruck, B., 2008. Aerodynamic modelling of trees for small-scale wind tunnel studies. *Forestry* *81*, 243e258.
- Gromke, C., Ruck, B., 2007. Influence of trees on the dispersion of pollutants in an urban street canyon—experimental investigation of the flow and concentration field. *Atmospheric Environment* *41*, 3287–3302.
- Gromke, C., Ruck, B., 2009. On the impact of trees on dispersion processes of traffic emissions in street canyons. *Boundary-Layer Meteorology* *131*, 19–34.
- Gülten, A. 2007. Kent Dokusunda Güneş Işınımından Yararlanmak İçin Cadde-Bina İlişkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hang, J., & Li, Y. (2010). Ventilation strategy and air change rates in idealized high-rise compact urban areas. *Building and Environment*, *45*(12), 2754–2767. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.06.004>
- Hang, J., Li, Y., Sandberg, M., Buccolieri, R., & Di Sabatino, S. (2012). The influence of building height variability on pollutant dispersion and pedestrian ventilation in idealized high-rise urban areas. *Building and Environment*, *56*, 346–360. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.023>
- Hang, J., Sandberg, M., Li, Y., & Claesson, L. (2009). Pollutant dispersion in idealized city models with different urban morphologies. *Atmospheric Environment*, *43*(38), 6011–6025. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.029>
- Hava kirliliğini artıran sıcaklık inversiyon. (2017).
- Heal, M. R., Kumar, P., & Harrison, R. M. (2012). Particles, Air Quality, Policy and Health, (June). <https://doi.org/10.1039/c2cs35076a>
- Heisler GM, Grant RH. Ultraviolet radiation in urban ecosystems with consideration of effects on human health. *Urban Ecosyst* *2000*;4:193e229
- Hindman, E. E., & Upadhyay, B. P. (2002). Air pollution transport in the Himalayas of Nepal and Tibet during the 1995 – 1996 dry season, *36*(October 1995), 727–739.
- Hoydysh, W.G., Dabberdt, W.F., 1988. Kinematics and dispersion characteristics of flows in asymmetric street canyons. *Atmospheric Environment* *22*, 2677–2689.
- Hofman, J., Bartholomeus, H., Janssen, S., Calders, K., Wuyts, K., Van Wittenberghe, S., & Samson, R. (2016). Influence of tree crown characteristics on the local PM10 distribution inside an urban street canyon in Antwerp (Belgium): A model and experimental approach. *Urban Forestry and Urban Greening*, *20*, 265–276. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.013>

- Huang YJ, Akbari H, Taha H, Rosenfeld AH. The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. *Clim Appl Meteorology* 1987;26(9):1103e16.
- Hunter, L.J., Johnson, G.T., Watson, I.D., 1992. An investigation of three-dimensional characteristics of flow regimes within the urban canyon. *Atmospheric Environment* 26B, 425–432.
- İnal, C., & Yiğit, C. Ö. (2003). Jeodezik uygulamalarda kriging enterpolasyon yönteminin kullanılabilirliği. *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Konya*, 177-185.
- Info, A., Date, S., Date, A., Assessment, A., Relationship, T., & Air, B. (2018). An Assessment Through Relationship Between Air Pollution and Climatic Parameters in City of Iğdır Iğdır Kentinde Hava Kirliliği ve İklim Parametreleri Arasındaki İlişki Üzerine Bir Değerlendirme, 1–10.
- Incecik, S., 1994. Hava kirliliği, Teknik Üniversite Matbaası, s. 26-41.
- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution - Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>
- Jayasooriya, V. M., Ng, A. W. M., Muthukumar, S., & Perera, B. J. C. (2017). Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. *Urban Forestry and Urban Greening*, 21, 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.007>
- Jeanjean, A. P. R., Monks, P. S., & Leigh, R. J. (2016). Modelling the effectiveness of urban trees and grass on PM2.5 reduction via dispersion and deposition at a city scale. *Atmospheric Environment*, 147, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.033>
- Jim, C.Y., Chen, W.Y., 2008. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *J. Environ. Manage.* 88, 665–676
- Jin, S., Guo, J., Wheeler, S., Kan, L., & Che, S. (2014). Evaluation of impacts of trees on PM2.5 dispersion in urban streets. *Atmospheric Environment*, 99, 277–287. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.10.002>
- Jones, S.G., Fisher, B.E.A., Gonzalez-Flesca, N., Sokhi, R., 2000. The use of measurement programmes and models to assess concentrations next to major roads in urban areas. *Environmental Monitoring and Assessment* 64, 531–547.
- karabükte hava kirliliği.pdf. (n.d).
- Karaca, A., Şenol, A., & Denizli, F. (2013). Geliştirilmesi Projesi - Kentair Erzurum Hava Kalitesi Değerlendirme Raporu.
- Karbuz, İ. (2016). Tekirdağ'da Hava Kirliliğine Coğrafi Bakış. *The Journal Of Academic Social Science Studies*, 44, 363-376
- Karra, S., Malki-Epshtein, L., & Neophytou, M. K. A. (2017). Air flow and pollution in a real, heterogeneous urban street canyon: A field and laboratory study. *Atmospheric Environment*, 165, 370–384. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.06.035>
- Keser, N. (2002). Kütahya'da Hava Kirliliğine Etki Eden Topografik ve Klimatik Faktörler. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 0(5). <https://doi.org/10.14781/MCD.37337>
- Ketterer, C., & Matzarakis, A. (2016). Mapping the Physiologically Equivalent Temperature in urban areas using artificial neural network. *Landscape and Urban Planning*, 150, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.02.010>

- Kwak, K. H., Baik, J. J., & Lee, K. Y. (2013). Dispersion and photochemical evolution of reactive pollutants in street canyons. *Atmospheric Environment*, 70, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.010>
- Lee, S.-H., Park, S.-U., 2008. A vegetated urban canopy model for meteorological and environmental modelling. *Bound. Layer Meteorol.* 126, 73e102.
- Lin, M.-Y., & Khlystov, A. (2012). Investigation of ultrafine particle deposition to vegetation branches in a wind tunnel. *Aerosol Science and Technology*, 46(4), 465–472. <http://dx.doi.org/10.1080/02786826.2011.638346>
- Lindberg, F., Holmer, B., Thorsson, S., 2008. Solweig 1.0-Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *Int. J. Biometeorol.* 52, 697e713.
- Li, C., Wang, Z., Li, B., Peng, Z.-R., & Fu, Q. (2018). Investigating the relationship between air pollution variation and urban form. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.038>
- Li, X. B., Lu, Q. C., Lu, S. J., He, H. Di, Peng, Z. R., Gao, Y., & Wang, Z. Y. (2016). The impacts of roadside vegetation barriers on the dispersion of gaseous traffic pollution in urban street canyons. *Urban Forestry and Urban Greening*, 17, 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.03.006>
- Lovett, G.M., 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecol. Appl.* 4, 629–650.
- Liu, Y., Wu, J., Yu, D., & Ma, Q. (2018). The relationship between urban form and air pollution depends on seasonality and city size. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), 15554–15567. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1743-6>
- Lu, C., & Liu, Y. (2016). Effects of China's urban form on urban air quality. *Urban Studies*, 53(12), 2607–2623. <https://doi.org/10.1177/0042098015594080>
- Masters, G.M., 1991. *Introduction to Environmental and Science*, Prentice Hall International Editions.
- Mcnabola, A., Luanagh, N. O., Gallagher, J., & Gill, L. (2013). The development and assessment of an aspiration efficiency reducing system of air pollution control for particulate matter in building ventilation systems. *Energy & Buildings*, 61, 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.024>
- McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A., 1994. Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. USDA Forest Service General Technical Report NE-186.
- Meroney RN, Pavegeau M, Rafailidis S, Schatzmann M. Study of line source characteristics for 2-D physical modelling of pollutant dispersion in street canyons. *J Wind Eng Ind Aerodyn* 1996;62(1):37e56
- Moonen, P., Gromke, C., Dorer, V., 2013. Performance assessment of Large Eddy Simulation (LES) for modeling dispersion in an urban street canyon with tree planting. *Atmos. Environ.* 75, 66e76
- Mohajeri, N., Gudmundsson, A., & French, J. R. (2015). CO₂ emissions in relation to street-network configuration and city size. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 35, 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.11.025>
- Nakamura, Y. and Oke, T.R., 1988. Wind, temperature and stability conditions in an E-W oriented canyon, *Atmospheric Environment* 22, 2691-2700.

- Neofytou, P., Venetsanos, A. G., Rafailidis, S., & Bartzis, J. G. (2006). Numerical investigation of the pollution dispersion in an urban street canyon. *Environmental Modelling and Software*, 21(4), 525–531. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.08.012>
- Neophytou, M.K.-A., Markides, C.N., Fokaidis, P.A., 2014. An experimental study of the flow through and over two dimensional rectangular roughness elements: deductions for urban boundary layer parameterizations and exchange processes. *Phys. Fluids* 26, 086603.
- Neophytou, M.K.-A., Markides, C.N., Fokaidis, P.A., 2014. An experimental study of the flow through and over two dimensional rectangular roughness elements: deductions for urban boundary layer parameterizations and exchange processes. *Phys. Fluids* 26, 086603.
- Nicholson, S.E., 1975. A pollution model for street-level air. *Atmospheric Environment* 9, 19–3
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4, 115–123.
- Ne, Ü. D., Ler, E. T. K. D., Dş, D. Ö., & Örne, D. Z. M. D. R. (2007). CO Ğ RAF D ÇEVRE B D LE Ş ENLER D N D N KENTSEL GEL DŞD M SÜREC D Relation Between Urbanization Development and Natural Environment Process, 16, 3–16.
- No Title*. (n.d).
- No Title*. (2010).
- Nosek, Š., Fuka, V., Kukačka, L., Kluková, Z., & Jaňour, Z. (2018). Street-canyon pollution with respect to urban-array complexity: The role of lateral and mean pollution fluxes. *Building and Environment*, 138(February), 221–234. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.036>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry and Urban Greening*, 29(September 2017), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>
- Ocak S., Turalioglu F.S. (2010) Relationship Between Air Pollutants and Some Meteorological Parameters in Erzurum, Turkey. In: Dincer I., Hepbasli A., Midilli A., Karakoc T. (eds) Global Warming. Green Energy and Technology. Springer, Boston, MA
- Oke, T.R., 1987. *Boundary Layer Climates*, 2nd Edition. Methuen, London.
- Oke, T.R., 1988. Street design and urban layer climate. *Energy and Buildings* 11, 103–113.
- Ortolani, C., & Vitale, M. (2016). The importance of local scale for assessing, monitoring and predicting of air quality in urban areas. *Sustainable Cities and Society*
- Özgüven, uğur özer. (2008). İSTANBULDaki Lüks Konutlarıİncelenmesi Ve FarkTiplerinin Karşılaştırılması.
- ÖzşahİN, E. (2016). Keşan ' da (Edirne) Hava Kirliliği Air Pollution in Keşan (Edirne), (36), 83–100.
- Partİgöç, N. S., & Çubukçu, K. M. (2017). Hava Kirliliği ve Kent Ğliğkisine Ampirik Bakığ : Ekolojik Sürdürülebilirlik Ekseninde Bir Değerlendirme The Empirical Overview of the Relationship Between Air Pollution and City : An Assessment

- from the Perspective of Ecological Sustainability, 3(2), 28–45.
- Qaid, A., Lamit, H. Bin, Ossen, D. R., & Rasidi, M. H. (2017). Effect of the position of the visible sky in determining the sky view factor on micrometeorological and human thermal comfort conditions in urban street canyons. *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2023-3>
- Qin, Y., Kot, S.C., 1993. Dispersion of vehicular emission in street canyons, Guangzhou city, South China (P.R.C). *Atmospheric Environment* 27B, 283–291.
- Pugh, T.A.M., Mackenzie, A.R., Whyatt, J.D., Hewitt, C.N., 2012. Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environ. Sci. Technol.* 46, 7692–7699. <http://dx.doi.org/10.1021/es300826w>.
- Rafael, S., Vicente, B., Rodrigues, V., Miranda, A. I., Borrego, C., & Lopes, M. (2018). Impacts of green infrastructures on aerodynamic flow and air quality in Porto's urban area. *Atmospheric Environment*, 190(April), 317–330. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.07.044>
- Ritz, B., & Yu, F. (2000). Parkinson's disease mortality and pesticide exposure in California 1984 – 1994, 323–329.
- Rodríguez Algeciras, J. A., Gómez Consuegra, L., & Matzarakis, A. (2016). Spatial-temporal study on the effects of urban street configurations on human thermal comfort in the world heritage city of Camagüey-Cuba. *Building and Environment*, 101, 85–101. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.026>
- Rudan, D. O. Ğ., Dolayli, V. E., Ler, E. T. K. İ., & Menderes, İ. B. (2008). Do ğ al ekos i stemler üzer i nde i nsan faal i yetler ini n do ğ rudan ve dolayli etk i ler i : büyük menderes deltasi (, 222–237.
- Sezen, I , Yılmaz, S . (2010). Erzurum Kenti Hava Kirlili ğ i Sorununun Çözümünde Peyzaj Mimarlı ğ ı Açısından Alınması Gereken Önlemler / Precautions For Solving Air Pollution Problems In Erzurum. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34 (3), . Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/ataunizfd/issue/2944/40753>
- Shaneyfelt, K. M., Anderson, A. R., Kumar, P., & Hunt, W. F. (2017). Air quality considerations for stormwater green street design. *Environmental Pollution*, 231, 768–778. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.081>
- Shi, Y., Xie, X., Fung, J. C. H., & Ng, E. (2018). Identifying critical building morphological design factors of street-level air pollution dispersion in high-density built environment using mobile monitoring. *Building and Environment*, 128(November 2017), 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.043>
- Silva, L. T., & Monteiro, J. P. (2016). The Influence of Urban Form on Environmental Quality within a Medium-Sized City. *Procedia Engineering*, 161, 2046–2052. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.801>
- Salim, S.M., Buccolieri, R., Chan, A., Di Sabatino, S., Cheaha, S.C., 2011a. Large Eddy Simulation of the aerodynamic effects of trees on pollutant concentrations in street canyons. *Procedia. Environ. Sci.* 4, 17e24.
- Salmond, J.A., Williams, D.E., Laing, G., Kingham, S., Dirks, K., Longley, I., Henshaw, G.S., 2013. The influence of vegetation on the horizontal and vertical distribution of pollutants in a street canyon. *Sci. Total Environ.* 443, 287e298.
- Schaubroeck, T., Deckmyn, G., Neiryneck, J., Staelens, J., Adriaenssens, S., Dewulf, J., Muys, B., Verheyen, K., 2014. Multilayered modeling of particulate matter

- removal by a growing forest over time, from plant surface deposition to washoff via rainfall. *Environ. Sci. Technol.* 48 (18), 10785e10794.
- Schatzmann, M., Leidl, B., Liedtke, J., 2000. Dispersion in urban environments - comparison of field measurements with wind tunnel results. *Environ. Monit. Assess.* 65, 249e257. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1006493319734>.
- Setälä, H., Viippola, V., Rantalainen, A.-L., Pennanen, A., & Yli-Pelkonen, V. (2013). Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions? *Environmental Pollution*, 183, 104–112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2012.11.010>
- Smiley, E.T., Calfee, L., Fraedrich, B.R., Smiley, E.J., 2006. Comparison of structural and noncompacted soils for trees surrounded by pavement. *Arboric. Urban For.* 32 (4), 164e169.
- Stone, B. 2008. Urban sprawl and air quality in large US cities. *Journal of Environmental Management* 86:688–98.
- Sungur, K. (1980). Isı Terselmesinin (İnversion) Hava Kirliliği Üzerindeki Rolü ve Negatif Etkisinin Azaltılabilmesi İçin Alınabilecek Önlemler. *İst. Üniv. Coğr. Enst. Dergisi*, (23).
- Taseiko, O. V., Mikhailuta, S. V., Pitt, A., Lezhenin, A. A., & Zakharov, Y. V. (2009). Air pollution dispersion within urban street canyons. *Atmospheric Environment*, 43(2), 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.076>
- Tem, A., & Merkez, H. (2016). Kirşehir ili hava kalitesi.
- Theurer, W., 1999. Typical building arrangements for urban air pollution modeling. *Atmospheric Environment* 33, 4057–4066.
- Terzaghi, E., Wild, E., Zacchello, G., Cerabolini, B.E.L., Jones, K.C., Di Guardo, A., 2013. Forest filter effect: role of leaves in capturing/releasing air particulate matter and its associated PAHs. *Atmos. Environ.* 74, 378e384.
- Toros, H., Bağış, S., & Gemici, Z. (2018). Ankara ' da Hava Kirliliği Mekânsal Dağılımının Modellenmesi, *1*(1), 20–53.
- Tsai, M. Y., & Chen, K. S. (2004). Measurements and three-dimensional modeling of air pollutant dispersion in an Urban Street Canyon. *Atmospheric Environment*, 38(35), 5911–5924. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.07.008>
- Vos, P.E., Maiheu, B., Vankerkom, J., Janssen, S., 2013. Improving local air quality in cities: to tree or not to tree? *Environ. Pollut.* 183, 113e122.
- Vardoulakis, S. ve Kassomenos, P. 2008. Sources and factors affecting PM10 levels in two European cities: Implications for local air quality management. *Atmospheric Environment*, 42 (17), 3949–3963.
- Vardoulakis, S., Dimitrova, R., Richards, K., Hamlyn, D., Camilleri, G., Weeks, M., Sini, J.F., Britter, R., Borrego, C., Schatzmann, M., Moussiopoulos, N., 2011. Numerical model inter-comparison for wind flow and turbulence around single-block buildings. *Environ. Model. Assess.* 16 (2), 169e181
- Vardoulakis, S., Fisher, B. E. A., Pericleous, K., & Gonzalez-Flesca, N. (2003). Modelling air quality in street canyons: A review. *Atmospheric Environment*. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00857-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00857-9)
- Weber, F., Kowarik, I., Saeumel, I., 2014. Herbaceous plants as filters: immobilization of particulates along urban street corridors. *Environ. Pollut.* 186, 234e240.

- Wania, A., Bruse, M., Blond, N., Weber, C., 2012. Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *J. Environ. Manag.* 94, 91e101
- Yilmaz, S., Koç, A., Mutlu, E., & Yildiz, N. D. (2016). Integration of Thermal Comfort Information with Spatial Modelling in Erzurum City Center. *Procedia Engineering*, 169, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.010>
- Yip, M., & Madl, P. (2002). Air Pollution in Mexico City. *Project-Study paper, University.*
- Yuan, M., Huang, Y., Shen, H., & Li, T. (2018). Effects of urban form on haze pollution in China: Spatial regression analysis based on PM2.5 remote sensing data. *Applied Geography*, 98(July), 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.018>
- Zhang, H., Xu, T., Zong, Y., Tang, H., Liu, X., & Wang, Y. (2015). Influence of Meteorological Conditions on Pollutant Dispersion in Street Canyon. *Procedia Engineering*, 121, 899–905. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.047>
- Zhou, C., Li, S., & Wang, S. (2018). Examining the impacts of urban form on air pollution in developing countries: A case study of China's megacities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph15081565>

URL-I. www.meteoblue.com

URL-II. <http://mobil.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx>

ÖZGEÇMİŞ



ELİF NUR SARI

Ataturk University, Faculty of Architecture and Design , Erzurum, Turkey.
Tel. +90 5466295353 email:elifnur.sari@istanbul.edu.tr Nationality - Turkey

PERSONAL INFORMATION

Name Surname Elif Nur SARI
Date Of Birth 04.11.1993
Place Of Birth Bakırköy/İstanbul
Marital Status Single

EDUCATION AND QUALIFICATIONS

2015- ... Atatürk University, Faculty of Architecture and Design
MA -*Department of Landscape Architecture*
2012 - 2017 Atatürk University, Faculty of Architecture and Design
BA - *Department of City and Regional Planning*
2011 - 2015 Atatürk University, Faculty of Architecture and Design
BA - *Department of Landscape Architecture*

WORK EXPERIENCE

March-2018 Istanbul University,
Faculty of Forest,
Department of Landscape Architecture
Research Assistant
October 2017
January 2018 Marmara University,
Urban Issues Research Center,
Volunteer

ACTIVITIES AND INTERESTS

2018 Istanbul Children's harmony to nature and city – Educator
[TUBITAK: Scientific And Technological Research Council Of Turkey]
2018 Urban Transformation of Fikirtepe Workshop
2018 National Landscape Architecture Conference
2018 ArcGIS Network Analyst Education [ESRI]
2018 ArcGIS for Desktop Education [ESRI]
2017 Planning of the open air cinema organization of the Faculty of Architecture
2017 KUDAKA: Erzurum Provincial Developmental Scenario Workshop
[KUDAKA:Nomenclature of Territorial Units for Statistics (NUTS)-
TRA 1 Development Agency]
2016 Future of City – City of Future Workshop-(Coordinator: Mitchell Joachim)-
2014 DAP Young – DAP Fest volunteer
2013 Young Ideas Strong Women Workshop
2013 Education of birdwatch - Erzurum

ADDITIONAL INFORMATION

Computing Skills: AutoCAD, MS Office, Photoshop, Sketch-Up, Lumion 5, ArcGIS

TEACHING ASSIST

2018 Spring Term : Basic Design
2018 Spring Term : Detail Design
2018 Spring Term : Project VI